

THIẾT KẾ CƠ ĐIỆN TỬ MÁY NÉN ĐƠN TRỤC PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU CƠ TÍNH TRÁI XOÀI

Võ Minh Trí¹

¹ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 31/10/2013

Ngày chấp nhận: 30/06/2014

Title:

Mechatronic design of uniaxial compressor using for testing mangoes firmness

Từ khóa:

Máy kiểm tra vật liệu, thiết bị kiểm bền nén

Keywords:

Material testing machine, compressive strength tester

ABSTRACT

Uniaxial presser is generally used to characterize the physical properties of materials including constructional materials (soil, concrete), and food (meat, fruits). To design a presser, this research solved two fundamental problems: a mechanical system design with the appropriate transmission mechanism and an accurate control system with data acquisition module. In the mechanical system, a ball-screw structure was used to generate axial motion transmitted from a stepper motor through a gearbox. The microcontroller, displacement sensor, and load cell were implemented to acquire and process data then transmit the data to the graphical user interface (GUI) and to a computer for storage. The design uniaxial presser has met certain required specifications with the accuracy of 48 μm in displacement and 1.95 N in force measurement. The operation stability and reasonable cost of the system showed the feasibility of applying the system in measuring the mango firmness with destructive measurement methods.

TÓM TẮT

Máy nén đơn trục là thiết bị được dùng phổ biến để tiến hành các thí nghiệm nghiên cứu tính chất vật lý của vật liệu nói chung, bao gồm trong xây dựng (đất, bê-tông) và các nguyên vật liệu trong ngành thực phẩm (thịt, trái cây). Để thiết kế máy nén, đề tài đi vào giải quyết hai vấn đề cơ bản là thiết kế hệ thống cơ khí với cơ cấu truyền động thích hợp và hệ thống điều khiển, thu thập dữ liệu có độ chính xác cao. Trong phần cơ khí, hệ thống truyền động sử dụng cơ cấu vít me đai ốc bi để tạo chuyển động tịnh tiến dọc trục, nguồn động lực được cung cấp bởi động cơ bước thông qua hộp giảm tốc. Chip vi điều khiển và hệ thống cảm biến chuyển vị, cảm biến lực được dùng để thu thập và xử lý số liệu, sau đó truyền về giao diện người dùng và lưu trữ trên máy tính. Kết quả máy nén đã đạt được những thông số kỹ thuật nhất định, độ chính xác đạt 48 μm đối với đo biến dạng và 1,95 N đối với đo lực. Khả năng làm việc ổn định và giá thành thấp hoàn toàn phù hợp cho việc đo cơ tính trái xoài thông qua phương pháp đo phá hủy.

1 GIỚI THIỆU

Máy đo biến dạng hay còn gọi là máy nén đơn trục dùng kiểm định vật liệu không mới, nó được

sử dụng rất phổ biến để phục vụ cho thí nghiệm kiểm tra và nghiên cứu khoa học liên quan đến vật liệu. Cụ thể, bài báo này giới thiệu về việc thiết kế

và chế tạo mô hình máy nén đơn trục phục vụ cho mục đích nghiên cứu cơ tính trái xoài trong đề tài nghiên cứu cấp trường “*Bước đầu nghiên cứu độ chín của xoài cát thương phẩm dùng phương pháp phân tích không phá hủy*”.

Máy nén được dùng trong các thí nghiệm phá hủy để kiểm tra độ bền, độ cứng của vật liệu nói chung hay cụ thể hơn là độ săn chắc của xoài trong bài nghiên cứu này. Kết quả của thí nghiệm nén được dùng để đối chứng với các phương pháp không phá hủy, từ đó đánh giá được hiệu quả của các phương pháp không phá hủy.

Trong thí nghiệm xác định độ săn chắc trái xoài của Bundit Jarimopas và Udomsak Kitthawee

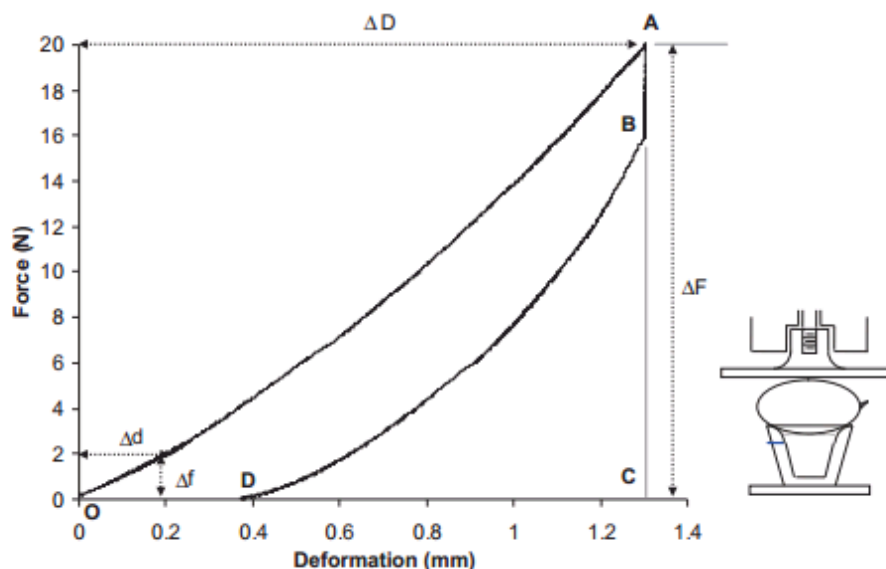
(2007) họ thực hiện thí nghiệm nén trên 20 trái xoài sau khi cho thí nghiệm va đập. Họ nhận thấy lực F tỷ lệ với độ biến dạng D cho ra độ dốc của biểu đồ F - D (Hình 1) và rút ra được độ săn chắc của xoài có quan hệ với hệ số F/D và số ngày thí nghiệm (X).

Cụ thể, họ tính độ săn chắc đối với xoài Nam Dokmai là:

$$F / D = 27.56 - 1659e^{-1.4E9X^{-4.2}}$$

và xoài Chok Anan:

$$F / D = 33.10 - 21813e^{-6.8E5X^{-2.5}}$$



Hình 1: Biểu đồ đáp ứng lực nén –biến dạng và mô tả thí nghiệm nén

Vì vậy, nhằm giải quyết nhu cầu máy nén để thực hiện thí nghiệm của đề tài, một máy nén đơn trục đã được thiết kế và chế tạo. Nhận thấy hầu hết các máy nén hiện có trên thị trường là những máy vận hành bằng tay hoặc bán tự động, khi tiến hành thí nghiệm đòi hỏi người thực hiện phải tốn thời gian để thu thập dữ liệu và tính toán nên năng suất hoạt động thấp, vì thế máy nén đơn trục này được chế tạo với tiêu chí đạt được khả năng thu thập, xử lý và lưu trữ dữ liệu tự động và xuất báo cáo theo định dạng mẫu.

2 NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1 Tổng quan hệ thống cơ điện tử

Theo giáo sư M. Steinbuch, cơ điện tử là sự kết hợp hữu cơ của kỹ thuật cơ khí chính xác, điều khiển điện tử và hệ thống theo quan điểm thiết kế

sản phẩm và quy trình sản xuất. Nó liên quan đến việc thiết kế các hệ thống, thiết bị và sản phẩm nhằm đạt được một sự cân bằng tối ưu giữa các cấu trúc cơ khí cơ bản và điều khiển tổng thể của nó (Steinbuch, 2013).

Các yêu cầu kỹ thuật thiết kế máy đo biến dạng

Yêu cầu chung

- Cơ khí chính xác
- Lực ép theo yêu cầu
- Điều khiển được vận tốc theo thời gian
- Thu thập, phân tích, xuất báo cáo theo mẫu

Phân bố yêu cầu theo khối chức năng

- Khối cơ khí chính xác: độ phân giải biến dạng 48 μm , lực 1,95 N cho tầm đo 10.000 N, đảm bảo độ bền khi chịu tải cực đại

- Lực ép theo yêu cầu: có khả năng tạo lực nén cực đại đến 10.000 N
- Điều khiển được vận tốc: dãy vận tốc lựa chọn được trong khoảng 0,001 – 6,25 mm/phút
- Thu thập, phân tích, xuất báo cáo theo mẫu kiểm định vật liệu trên định dạng Excel

2.2 Thiết kế hệ thống

2.2.1 Hệ dẫn động cơ khí

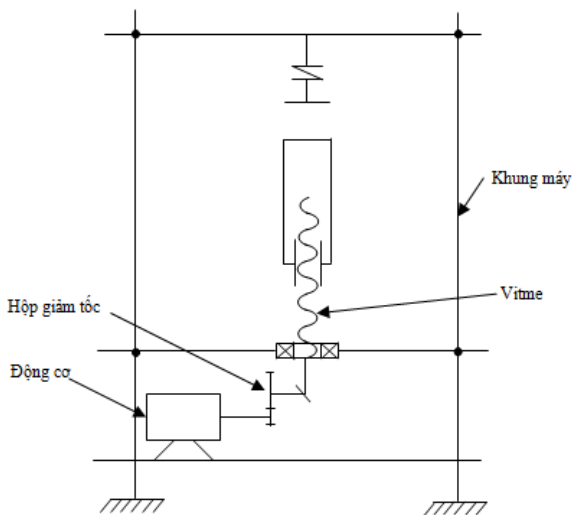
Phần cơ khí của máy nén gồm một động cơ bước để tạo lực ép cho máy, hộp giảm tốc để giảm tốc độ động cơ và tăng mô-men xoắn, được lắp cố định trên khung cơ khí (Hình 2).

Máy nén sử dụng vít me đai ốc bi để chuyển đổi chuyển động xoay sang chuyển động tịnh tiến. Yêu cầu trong thiết kế cơ khí là lựa chọn và thiết kế các chi tiết với kích thước thích hợp để tạo sự hài hòa cân xứng nhưng quan trọng là vẫn phải đảm bảo sức bền và khả năng chịu tải.

a. Chọn vít me đai ốc bi

Đối với vít me đai ốc bi model SF1505-4, tra tài liệu kĩ thuật được các thông số:

- Khả năng chịu tải tĩnh cho phép: $C_0 = 3110 \text{ kgf} \Leftrightarrow C_0 = 30\,478 \text{ N}$
- Khả năng chịu tải khi hoạt động: $C = 1280 \text{ kgf} \Leftrightarrow C = 12\,544 \text{ N}$
- Bước vít me đai ốc bi: 5mm/vòng



Hình 2: Sơ đồ nguyên lý máy nén

b. Chọn động cơ

Để máy nén hoạt động cần có động cơ để điều khiển trục vít me đai ốc bi. Trong điều khiển vị trí,

việc lựa chọn động cơ có hai giải pháp là: động cơ bước và động cơ servo. Tuy nhiên, giải pháp động cơ servo đòi hỏi phải điều khiển vòng kín đồng thời chi phí cao hơn so với sử dụng động cơ bước mà điều khiển vòng hở. Vì thế, động cơ bước được chọn để sử dụng.

Động cơ bước được chọn ở đây là động cơ bước 4 pha, model 23KM-K032V, độ phân giải 1,8°/bước, tốc độ tối đa khoảng 300 vòng/phút (NMB Corporation, 1998).

c. Hộp giảm tốc

Hộp giảm tốc được sử dụng để giảm tốc độ và tăng mô-men cho trục nén. Hộp giảm tốc được sử dụng là loại trục vít – bánh vít, hai trục vuông góc, model F2SM-15-10-240, tỉ số truyền 240:1 (NISSEI Corporation, 2004).

d. Tính lực nén

Từ các thông số của động cơ bước, vít me đai ốc bi, hộp giảm tốc và tốc độ nén tính được lực nén của máy như sau:

Trường hợp: vận tốc nén của trục là 1,5 mm/phút

$$\Rightarrow \text{Vận tốc quay ở trục nén: } n_{\text{trục}} = 1,5 \div 5 = 0,3 \text{ vòng/phút}$$

(Bước ren của vít me đai ốc bi là $l = 5 \text{ mm}$)

$$\text{Vận tốc quay của trục động cơ: } n_{\text{dc}} = 0,3 \times 240 = 72 \text{ vòng/phút}$$

Mô-men xoắn ở trục động cơ 0,8 Nm (dựa theo biểu đồ mô-men trong catalog của động cơ)

Công suất của động cơ :

$$P_{\text{dc}} = \frac{T_{\text{dc}} \times n_{\text{dc}}}{9,55}$$

Trong đó:

T_{dc} là mô-men xoắn trên trục động cơ (Nm)

n_{dc} là tốc độ quay của trục động cơ (vòng/phút)

$$\Rightarrow P_{\text{dc}} = \frac{0,8 \times 72}{9,55} \approx 6,03 \text{ W}$$

(Kết quả này phù hợp với thông số kĩ thuật do nhà sản xuất cung cấp)

Hiệu suất truyền của hộp giảm tốc là $\eta = 90\%$

Công suất tại trục nén:

$P_{truc} = P_{dc} \times \eta = 6,03 \times 0,9 \approx 5,427 \text{ W}$ Mô-men xoắn ở trục nén:

$$T_{truc} = \frac{9,55 \times 5,427}{0,3} \approx 172,7 \text{ Nm}$$

Lực nén tạo ra trên trục nén:

$$F_a = \frac{T \times 2\pi\eta_1}{l} = \frac{172,7 \times 2\pi \times 0,9}{0,005} \approx 195220 \text{ N}$$

Trong đó:

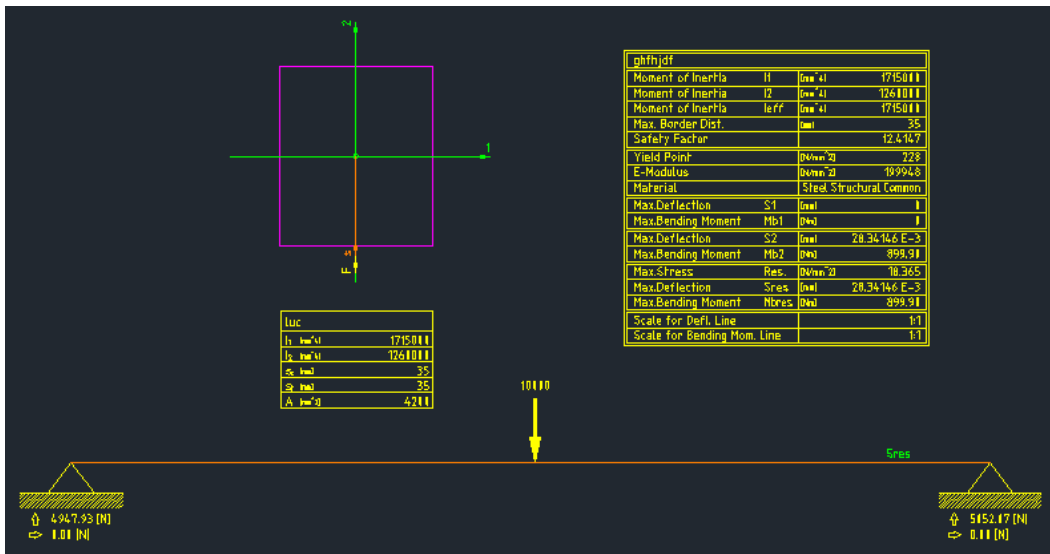
l (m) là bước ren của vít me đai ốc bi

$\eta_1 = 0,9$ là hiệu suất truyền của vít me đai ốc bi

2.2.2 Khung máy

Khi thực hiện thí nghiệm nén, mẫu vật chịu lực nén của trục vít và khung giới hạn. Vì thế cần tính toán sức bền của kết cấu khung giới hạn, cụ thể là tính độ võng của hai thanh dầm ngang và lực chịu kéo của hai thanh đứng.

Đối với hai thanh dầm có kích thước bằng nhau nên chỉ cần tính toán trên một đối tượng. Ở đây, kết quả tính toán được dựa trên phần mềm AutoCAD Mechanical.



Hình 3: Tính độ võng của thanh dầm trên AutoCAD Mechanical

Dựa trên kết quả tính toán của phần mềm khi gia tải ở 10 000 N thì độ võng tối đa là 29,34 μm . Độ võng rất nhỏ vì thế hai thanh dầm đạt điều kiện để máy hoạt động tốt mà không bị ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm.

Tính độ bền của thanh ren: Đường kính của hai thanh thanh ren là 24 mm, loại thép C45, tính được tiết diện là:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 24^2}{4} = 452,16 \text{ mm}^2.$$

Lực kéo tối đa được tính từ công thức:

$$\sigma = \frac{F}{A} \Rightarrow F = A \times \sigma = 452,16 \times 60 = 27129,6 \text{ N}$$

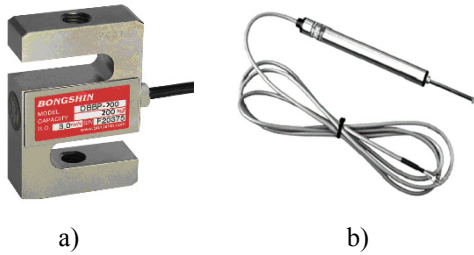
Trong đó $\sigma = 60 \text{ N/mm}^2$ là ứng suất kéo cho

phép của thép C45 (TCVN 8301: 2009)

Như vậy, hai thanh ren thừa bền khi sử dụng hết tải trọng động của vít me đai ốc bi (12 544 N như đã trình bày ở trên).

2.2.3 Đo lường và bộ điều khiển

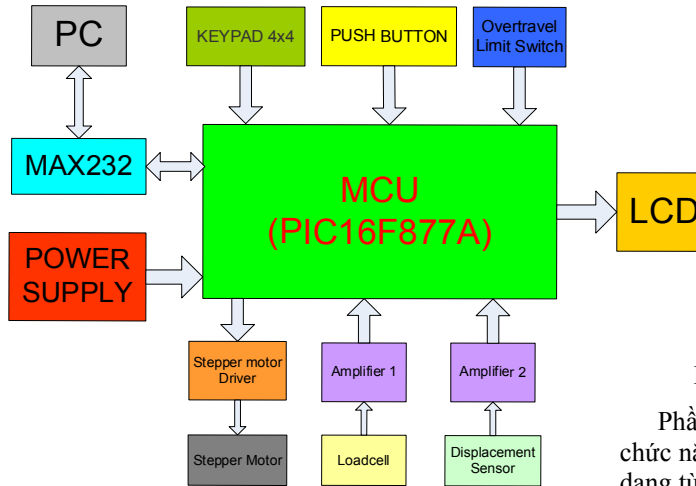
Hai thông số đo đặc chính của máy là lực nén và độ biến dạng vì thế cần có các cảm biến để đo các đại lượng này. Máy được trang bị một loadcell (Hình 4 - a) có khả năng chịu tải tối đa 200 kg để đo lực nén và một cảm biến đo chuyển vị (Hình 4 - b) có tầm đo 0 – 100 mm. Hai cảm biến này được khuếch đại tín hiệu bởi IC INA125, sau đó tín hiệu được đưa về ngõ vào analog của vi điều khiển PIC16F877A để số hóa nhờ bộ ADC 10 bit được tích hợp sẵn (lần lượt là Amplifier1, Amplifier2, và MCU trên Hình 5).



Hình 4: Load cell và cảm biến chuyển vị

Bộ điều khiển là phần quan trọng nhất của máy nén, giúp máy hoạt động và điều khiển quá trình tương tác với người dùng. Bộ điều khiển hoạt động chủ yếu dựa trên điều khiển của chip vi điều khiển PIC16F877A, đây là chip vi điều khiển 8 bit của hãng Microchip.

Sơ đồ khối của bộ điều khiển được trình bày trong Hình 5: Bộ điều khiển nhận lệnh từ người dùng thông qua bàn phím (Keypad 4x4) và các nút nhấn (Push button), hiển thị trạng thái hoạt động lên màn hình LCD 20x4, xuất tín hiệu qua bộ lấy (Driver) để điều khiển động cơ bước (Stepper motor) và truyền dữ liệu về máy tính theo chuẩn RS-232 (thông qua vi mạch chuyển đổi MAX232). Ngoài ra, máy còn được bảo vệ giới hạn hành trình nhờ các công tắc hành trình (Limit Switch) được gắn bên trong.



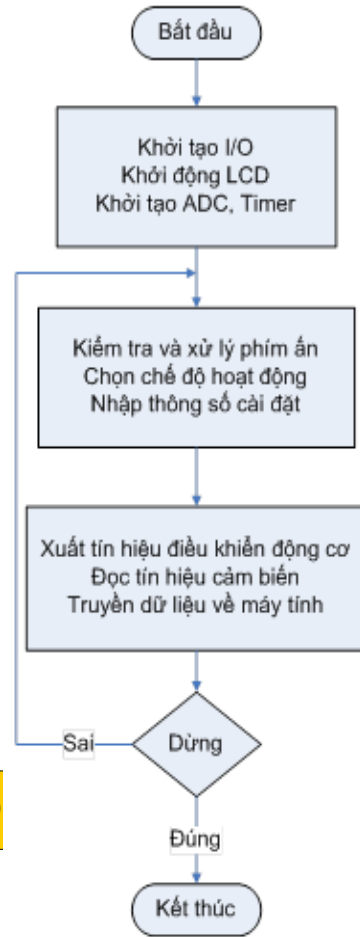
Hình 5: Sơ đồ khối bộ điều khiển

2.2.4 Giao diện phần mềm

Hệ thống phần mềm sử dụng để điều khiển máy nén gồm 2 bộ phận: phần mềm nhúng trên vi điều khiển và phần mềm thu thập dữ liệu trên máy tính.

Đối với phần mềm nhúng trên vi điều khiển được viết bằng ngôn ngữ C, được chia thành

nhiều chương trình con để thực hiện các chức năng khác nhau: điều khiển và hiển thị LCD, kiểm tra phím ấn, điều khiển động cơ bước, đọc tín hiệu cảm biến và xử lý dữ liệu về máy tính. Bên cạnh đó, chương trình còn được thiết kế để bảo vệ máy khi có các vấn đề quá tải và quá giới hạn hành trình của trục nén. Lưu đồ giải thuật tổng quát như Hình 6.



Hình 6: Lưu đồ chương trình chính

Phần mềm thu thập dữ liệu trên máy tính có chức năng chính là nhận dữ liệu lực nén và độ biến dạng từ bộ điều khiển của máy nén truyền về thông qua chuẩn truyền thông nối tiếp RS-232.

Trong quá trình nhận dữ liệu từ bộ điều khiển, phần mềm vẽ lại đồ thị lực nén và biến dạng của mẫu thí nghiệm trên giao diện chương trình (Hình 8).

Đặc biệt, kết thúc quá trình nén mẫu, phần mềm cho phép xuất file báo cáo kết quả thí nghiệm để lưu trữ dưới dạng Excel (Hình 9).

3 KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

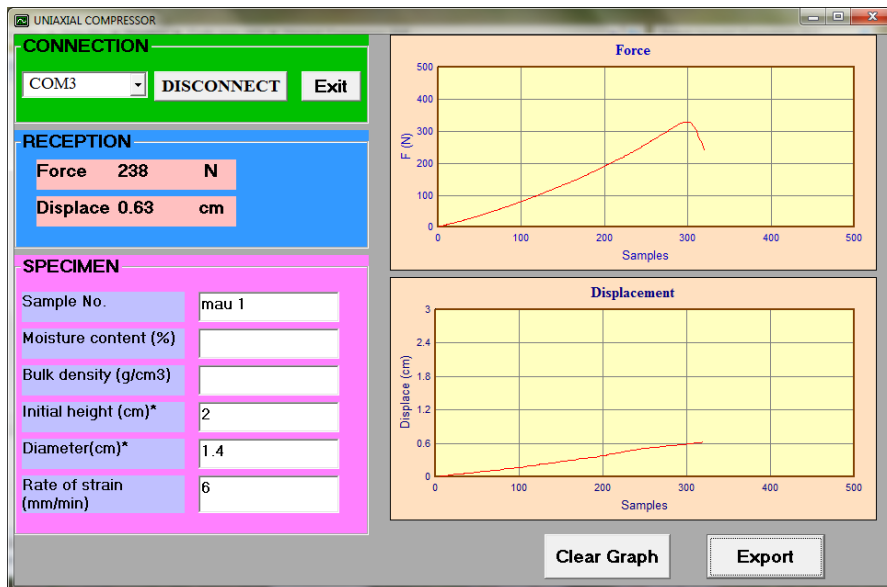
Với yêu cầu đặt ra và dựa trên thực tế về trang thiết bị, vật tư chế tạo máy, máy nén đã được thiết kế và chế tạo thành công. Mô hình hoàn chỉnh của máy nén như Hình 7. Bảng 1 trình bày các thông số kỹ thuật máy sau khi chế tạo. Hình 8 trình bày giao diện của máy, giao diện cho phép giám sát trực tuyến và ghi nhận dữ liệu quá trình nén mẫu. Trước khi thực hiện quá trình nén, người dùng phải thực hiện kết nối. Quá trình thu thập chỉ diễn ra khi vùng diệm có dữ liệu, nghĩa là quá trình ghi và hiển thị trên các đồ thị bên phải bắt đầu khi nút khởi động quá trình nén trên mặt điều khiển máy đã ấn. Kết thúc quá trình nén, kết quả xuất ra báo cáo dưới dạng bảng kết quả kiểm định được thiết kế trước như trên Hình 9. Ngoài ra, người dùng có thể sao chép file lưu trữ trên ổ cứng máy, có định dạng bảng tính excel phục vụ cho nghiên cứu, phân tích, đánh giá kết quả kiểm định.



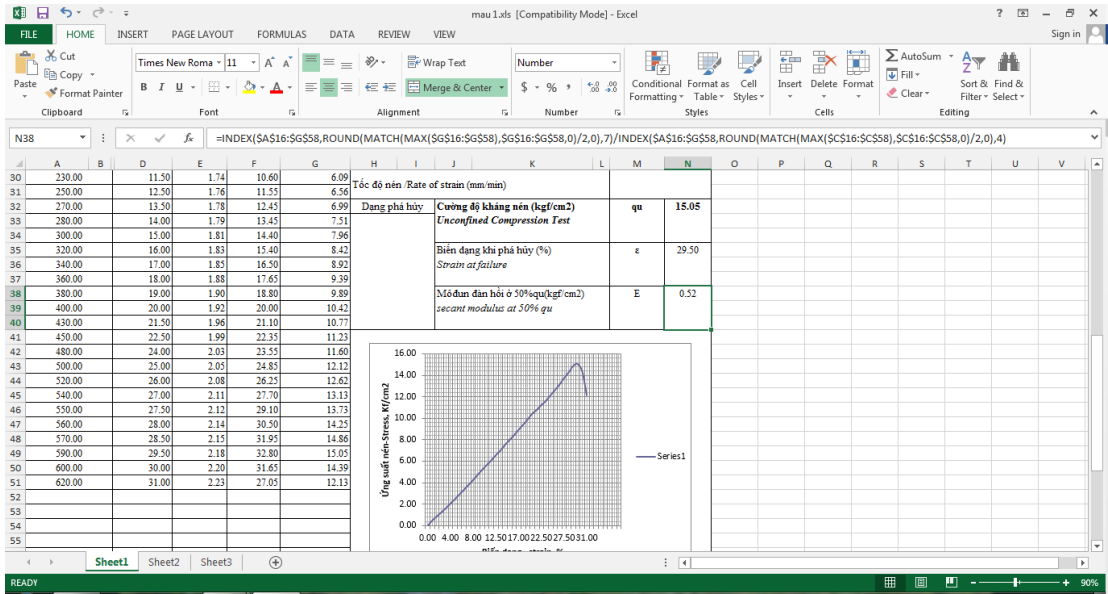
Hình 7: Mô hình máy nén hoàn chỉnh

Bảng 1: Thông số kỹ thuật của máy nén

Vật liệu cấu tạo khung máy	Thép CT3
Kích thước (dài x rộng x cao)	550 x 470 x 1.340 mm
Điện áp cung cấp	220 VAC
Hành trình nén	15 cm
Kích thước mẫu tối đa (chiều cao/đường kính)	30 cm/9 cm
Khả năng gia tải cực đại của máy	12 500 N
Tốc độ nén	0,001 – 6,25 mm/phút
Giới hạn cảm biến đo biến dạng	50 mm
Giới hạn cảm biến đo lực (đang sử dụng)	2.000 N
Độ phân giải lực nén	1,95 N
Độ phân giải biến dạng	48 μ m



Hình 8: Giao diện phần mềm thu thập dữ liệu trên máy tính



Hình 9: Kết quả thí nghiệm được lưu trữ thành file và xuất bản in theo định dạng bảng kết quả kiểm định được thiết kế trước theo qui định

4 KẾT LUẬN VÀ ĐỀ XUẤT

Đề tài đã thiết kế và chế tạo thành công mô hình máy nén đơn trục. Kết cấu cơ khí vững chắc đã được tính toán dư bền, đạt thẩm mỹ nhất định, an toàn, thuận tiện trong quá trình vận hành, máy hoàn toàn có thể nén các nguyên vật liệu khác nhau mà vẫn đảm bảo độ chính xác trong đo đạc.

Bộ điều khiển máy hoạt động tốt đảm bảo các thao tác chọn chế độ hoạt động, đặt tốc độ, hiển thị thông số cài đặt và tình trạng hoạt động lên giao diện màn hình LCD và khả năng truyền dữ liệu về máy tính.

Giao diện thu thập dữ liệu trên máy tính ghi lại dữ liệu của toàn bộ quá trình nén trên đồ thị lực nén – biến dạng, cho phép nhập thông tin về mẫu thí nghiệm (kích thước, độ ẩm, khối lượng riêng, tốc độ nén) để từ đó xuất toàn bộ dữ liệu ra file báo cáo dưới dạng bảng tính (Excel).

Quá trình vận hành và thí nghiệm thực tế cho thấy khả năng ứng dụng của máy rất lớn. Máy nén hoàn toàn đủ khả năng để thí nghiệm nén các mẫu có độ cứng lớn như mẫu đất trong kiểm định xây dựng, hay trong nhiều lĩnh vực khác nữa chứ không chỉ dừng lại ở mục đích nén thí nghiệm trên trái xoài.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bundit Jarimopas và Udomsak Kitthawee. 2007. *Firmness properties of mangoes*. International Journal of Food Properties, Vol 10, trang 899 – 909.
2. ASTM - American Society for Testing and Materials, 2000. *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*. USA
3. M. Steinbuch, 2013. *Mechatronics – The Science of intelligent machine*. <http://www.journals.elsevier.com/mechatronics/> truy cập ngày 13/10/2013
4. NSK Ltd., 2007. *NSK Ball Screws Catalog*. Japan.
5. NISSEI Corporation, 2004. *Gearbox F2SM-15-15-240-S90*. Japan
6. NMB Corporation, 1998. *Precision Step Motors*. USA
7. Department of Mechanical Engineering – The University of UTAH. *Ball Screw Selection and Calculations*. http://www.mech.utah.edu/~me7960/lecture_s.html, truy cập ngày 15/08/2013