



ISSN 1859 - 4026

Số 61  
2026

TẠP CHÍ

# CÔNG NGHIỆP NÔNG THÔN

JOURNAL OF RURAL INDUSTRY

CƠ QUAN BÁO CHÍ CỦA HỘI CƠ KHÍ NÔNG NGHIỆP VIỆT NAM



# 101 NĂM BÁO CHÍ CÁCH MẠNG VIỆT NAM

*bản lĩnh, trách nhiệm  
và khát vọng phát triển*



KHOA HỌC



CÔNG NGHỆ



CÔNG NGHIỆP



PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

# "NHÀ THƠ, NHÀ BÁO KHÁNH NGUYỄN"

## THỢ RÈN

Giữa trăm nghề, làm nghề thợ rèn  
Ngồi xuống nhọ lưng, quét ngang nhọ mũi  
Suốt tám giờ chân than mặt bụi  
Giữa trăm nghề, chọn nghề thợ rèn

Làm thợ rèn mùa hè có nực  
Quai một trận, nước tu ừng ực  
Hai vai trần bóng nhẫy mồ hôi  
Cũng có khi thấy thờ qua tai

Làm thợ rèn: Phơi trần bộ ngực  
Đứng dế chân chèo nện cho thật lực  
Hai bắp tay như hai súc gỗ lim  
Hắt lửa lò như tượng đồng hun

Làm thợ rèn vui như diễn kịch  
Râu bằng than mọc lên bằng thích  
Nghịch ở đây già trẻ như nhau  
Nên nụ cười nào có tắt đâu!

Là thợ rèn thì nào, cầm thử  
Châm thuốc hút bằng hòn than đỏ?  
Làm thợ rèn là làm mọc lên  
Những vàng hoa biết sáng trong đêm

Làm thợ rèn bắt tay ai cũng chặt  
Quen cầm kìm như quen chân thật  
Làm thợ rèn đến với người yêu  
Như bên lò, mặt cũng đỏ lên

Làm thợ rèn dẫu than bụi thật  
Có một điều nghĩ sâu xa nhất  
Chiếc búa cùng ta vui sống ngày đêm  
Được gắn lên đây thành cờ búa liềm.



## NGÀY MAI CON ĐI THI...

Ngày mai con đi thi  
Cái tếp con vượt sóng  
Bố không đỡ được gì  
Rối bời bên bờ sóng

Chín tháng mẹ mang nặng  
Hết lấy lại tập bò  
Sài đẹn rồi bão nắng  
Lắm chằm con tập đi

Trang vở kẻ ô ly  
Lần dòng con tập viết  
Những cộng trừ nhân chia ...  
Dẫn con đi mài miết...

Bố thường đi biển biệt  
Mẹ lặn lội thân cò  
Giật mình ra mới biết  
Bố như người vô lo

Gà giục sáng o o...  
Âm thầm bố trách bố  
Sông sâu đầy sóng vỗ  
Ngày mai con đi thi...

**TẠP CHÍ**  
**CÔNG NGHIỆP NÔNG THÔN**  
NĂM THỨ 15: SỐ 61  
NĂM 2026; XUẤT BẢN 4 KỲ/NĂM

**HỘI ĐỒNG BIÊN TẬP**  
**Chủ tịch**  
GS.TS. NGUYỄN HAY

**Phó chủ tịch**  
TSKH. BẠCH QUỐC KHANG  
PGS. TS PHẠM ANH TUẤN  
PGS.TS LÊ MINH LƯ  
GS.TS. PHẠM VĂN CHƯƠNG

**Ủy viên thường trực HĐBT**  
PGS.TS CHU VĂN THIÊN  
ThS. NGUYỄN NGỌC BÌNH  
TS. LÊ NGỌC ÁNH  
TS. NGUYỄN ĐỨC LONG

**Thành viên HĐBT**  
GS.TS NGUYỄN HUY BÍCH  
PGS.TS ĐỖ MINH CƯỜNG  
PGS.TS DƯƠNG VĂN TÀI  
TS. LÊ VĂN BẢNH  
ThS NGUYỄN CÔNG BÌNH  
TS. TRẦN HỒNG THAO  
PGS.TS NGUYỄN DUY LÂM  
TS. NGUYỄN NĂNG NHƯỢNG  
PGS. TS NGUYỄN ĐÌNH TÙNG  
TS. PHẠM MINH ĐẠT  
GS.TS ĐÌNH VĂN SƠN  
PGS.TS LÊ QUỐC THANH  
TS. NGUYỄN ĐỨC KHUYẾN  
TS. NGUYỄN THANH NGHỊ



*Ảnh bìa 1: Kỷ niệm 101 năm  
Báo chí cách mạng Việt Nam*

**TỔNG BIÊN TẬP**  
TS. LÊ NGỌC ÁNH

**PHÓ TỔNG BIÊN TẬP**  
PGS.TS CHU VĂN THIÊN  
ThS. NGUYỄN NGỌC BÌNH  
TS. NGUYỄN ĐỨC LONG

**THƯ KÝ TÒA SOẠN**  
TS. TRẦN HỒNG THAO

**Ủy viên ban biên tập**  
CỬ NHÂN. ĐỖ NGỌC AN  
KS. NGUYỄN THANH DŨNG  
KS. NGUYỄN HỒNG DƯƠNG

**TÒA SOẠN**  
**TẠP CHÍ CÔNG NGHIỆP NÔNG THÔN**

<https://congnghiepnongthon.vn>  
Địa chỉ: Số 54, ngõ 102, đường Trường Chinh,  
P. Kim Liên, Hà Nội.

ĐT: 024.38688620 / 0865.988.388

Email: [khoahocnnt@gmail.com](mailto:khoahocnnt@gmail.com)

Giấy phép số: số 29/GP – BVHTTDL

cấp lại ngày 03 tháng 03 năm 2026

In tại xưởng in NXBNN: Ngõ 167 phố Phương Mai,  
P.Kim Liên, Hà Nội

# MỤC LỤC

## TẠP CHÍ CÔNG NGHIỆP NÔNG THÔN

	Trang
<b>1 - ThS. Lương Quý Hiệp , ThS. Vũ Huy Hoà:</b> Mô phỏng và đánh giá an toàn đai an toàn trong vận hành phương tiện cơ giới	3
<b>2 - Nguyễn Nam Quyền, Nguyễn Văn Lành, Lê Võ Minh Khang, Phạm Nguyên Hào:</b> Nghiên cứu, thiết kế và chế tạo bộ thu thập dữ liệu cho hệ thống điện năng lượng mặt trời áp mái	12
<b>3 - Do Tat Thuy, Nguyen Tat Thang, Le Thu Hang, Bui Thanh Toan, Chu Le Trang, Nguyen Thi Thuan, Vu Thi Huong:</b> The influence of several technological factors on the extraction efficiency of alkaloids and maackiain from millettia speciosa champ. tubers	23
<b>4 - Nguyễn Thanh Phong, Nguyễn Phi Hùng, Trần Sĩ Luyện, Lê Anh Đức:</b> Thiết kế chế tạo và khảo nghiệm máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc	36
<b>5 - Lê Xuân Hảo, Trần Hồng Thao, Dương Mạnh Cường:</b> Một số kết quả nghiên cứu công nghệ và thiết bị nuôi và chế biến dịch giun tự động	45
<b>6 - Lê Thanh Sơn, Nguyễn Công Nguyên, Vũ Viết Toàn, Nguyễn Như Nam:</b> Nghiên cứu tính toán thiết kế và chế tạo cụm dao xoắn liên tục trên máy phá lục bình	53
<b>7 - Tạ Hanh:</b> Nghiên cứu, đề xuất hướng phát triển các giải pháp hỗ trợ tái chế chất thải dệt may	62
<b>8 - Ngo Ngoc Tram Anh:</b> The role of digital transformation in enhancing the competitiveness of rural industrial enterprises in vietnam	72
<b>9. Trần An Minh, Nguyễn Phan Bảo Như, Lâm Ngọc Cóm:</b> Kết quả nghiên cứu, thử nghiệm mô hình robot lọc vớt dầu trên mặt nước	80
<b>10- Vũ Huy Phúc, Nguyễn Thị Thu Trang, Đỗ Văn Hảo:</b> Nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế trong phát triển cơ giới hóa nông nghiệp và đề xuất bài học kinh nghiệm cho việt nam	85
<b>11 - Bạch Quốc Khang:</b> Ba kịch bản phát triển cơ giới hóa nông nghiệp đến năm 2035	94
<b>12 - Thư mời</b>	100

MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN ĐAI AN TOÀN TRONG VẬN HÀNH PHƯƠNG TIỆN CƠ GIỚI

Lương Quý Hiệp<sup>1</sup>, Vũ Huy Hoà<sup>2</sup>

TÓM TẮT

Trong bối cảnh gia tăng sử dụng các phương tiện cơ giới trong lĩnh vực công nghiệp và vận tải, vấn đề đảm bảo an toàn cho người vận hành ngày càng trở nên quan trọng, đặc biệt trong các tình huống va chạm. Đai an toàn là một trong những giải pháp cơ bản nhưng hiệu quả nhằm giảm thiểu chấn thương cho người lái. Tuy nhiên, hiệu quả bảo vệ của hệ thống này phụ thuộc vào đặc tính động lực học và điều kiện làm việc cụ thể của phương tiện. Bài báo trình bày việc xây dựng mô hình động lực học của hệ thống đai an toàn cho người lái và ứng dụng phần mềm Matlab/Simulink để mô phỏng, đánh giá các đặc trưng làm việc của hệ thống trong điều kiện va chạm. Các chỉ tiêu được phân tích bao gồm gia tốc, lực dây đai, tốc độ nén và biến dạng lồng ngực tại các vận tốc va chạm khác nhau (25 km/h và 60 km/h). Kết quả mô phỏng cho thấy các thông số động lực học thay đổi đáng kể theo vận tốc va chạm, trong đó một số đại lượng như biến dạng lồng ngực và lực dây đai có thể vượt ngưỡng an toàn khi vận tốc tăng cao. Trên cơ sở đó, bài báo đưa ra các nhận định và khuyến nghị nhằm góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng đai an toàn, đồng thời giảm thiểu nguy cơ chấn thương cho người vận hành phương tiện cơ giới trong điều kiện thực tế.

**Từ khóa:** An toàn, đai an toàn, động lực học, mô phỏng.

SIMULATION AND SAFETY ASSESSMENT OF SEAT BELT USE IN MOTOR VEHICLE OPERATION

ABSTRACT

In the context of the increasing use of motor vehicles in industrial production and transportation, ensuring operator safety has become a critical issue, especially under collision conditions. Seat belts are considered one of the most fundamental yet effective solutions for reducing injuries to drivers. However, the protective performance of this system largely depends on its dynamic characteristics and operating conditions. This paper presents the development of a dynamic model of the seat belt system for drivers and the application of Matlab/Simulink to simulate and evaluate its performance under collision scenarios. Key parameters, including acceleration, seat belt force, chest compression velocity, and chest deformation, are analyzed at different impact speeds (25 km/h and 60 km/h). The simulation results indicate that the dynamic parameters vary significantly with impact speed. In particular, some factors such as chest deformation and seat belt force may exceed safety thresholds at higher speeds. Based on these findings, the study provides practical recommendations to enhance the effectiveness of seat belt systems and reduce injury risks for operators of motor vehicles under real operating conditions.

**Keywords:** Dynamics; Safety; Seat belt; Simulation;

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của lĩnh vực công nghiệp, giao thông vận tải và cơ giới hóa trong nông nghiệp, các phương tiện cơ giới như ô tô, xe tải và xe chuyên dụng ngày càng được sử dụng rộng rãi trong hoạt động sản xuất và vận chuyển hàng hóa. Cùng với sự gia tăng về quy mô khai thác và tốc độ vận hành, nguy cơ xảy ra tai nạn giao thông và va chạm cơ học ngày càng lớn, gây ảnh hưởng trực tiếp đến an toàn của người điều khiển phương tiện. Theo các nghiên cứu về động lực học ô tô, trong quá trình va chạm, quán tính của cơ thể người tạo ra các chuyển động tương đối lớn giữa người lái và khoang

xe, làm xuất hiện các lực tác động mạnh lên vùng đầu, ngực và cột sống, từ đó gây ra các tổn thương nghiêm trọng nếu không có các hệ thống bảo vệ phù hợp [1].

Trong các hệ thống an toàn bị động trên ô tô, đai an toàn được xem là giải pháp cơ bản nhưng có hiệu quả cao trong việc hạn chế chuyển động quán tính của người lái khi xảy ra va chạm. Cơ chế hoạt động của đai an toàn là phân bố và hấp thụ một phần năng lượng va đập thông qua quá trình biến dạng và giảm chấn, từ đó làm giảm mức độ tổn thương của cơ thể người. Tuy nhiên, hiệu quả bảo vệ của hệ thống đai an toàn phụ thuộc lớn vào đặc tính động lực học của hệ thống người – ghế

<sup>1</sup> Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

<sup>2</sup> Trường Đại học Thành Đông

ngồi – dây đai cũng như điều kiện va chạm cụ thể như vận tốc đâm va, thời gian va chạm và đặc tính biến dạng của lồng ngực [2].

Nhiều nghiên cứu trước đây đã tập trung xây dựng các mô hình mô phỏng cơ thể người trong quá trình va chạm nhằm đánh giá mức độ tổn thương của người lái. Carneiro và cộng sự [2] đã sử dụng mô hình động lực học nhiều vật để nghiên cứu phản ứng của cơ thể người dưới tác động của hệ thống ghế ngồi và dây đai an toàn. Trong nghiên cứu này, vùng ngực của người lái được mô hình hóa bằng hệ khối lượng – lò xo – giảm chấn nhằm mô tả đặc tính đàn hồi và khả năng hấp thụ năng lượng của lồng ngực trong quá trình va đập. Kết quả cho thấy các thông số như lực dây đai, gia tốc vùng ngực và tốc độ biến dạng có ảnh hưởng trực tiếp đến mức độ chấn thương của người lái.

Bên cạnh đó, các nghiên cứu sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn cũng được áp dụng rộng rãi để phân tích khả năng chịu va đập của kết cấu xe và hệ thống an toàn. Usama Idrees và cộng sự [3] đã xây dựng mô hình phần tử hữu hạn để đánh giá va chạm trực diện của khung xe ô tô bằng vật liệu nhẹ. Andrew Hickey và Shaoping Xiao [4] đã sử dụng mô hình mô phỏng va chạm ô tô để đánh giá khả năng hấp thụ năng lượng của hệ thống kết cấu và ảnh hưởng đến an toàn người ngồi trong xe. Ngoài ra, Gulshan Noorsumar và cộng sự [5] đã tổng hợp và phân tích nhiều mô hình toán học đánh giá khả năng chịu va chạm của phương tiện, trong đó nhấn mạnh vai trò của các mô hình động lực học đơn giản hóa trong nghiên cứu nhanh các chỉ tiêu an toàn của cơ thể người.

Mặc dù các nghiên cứu trên đã đạt được nhiều kết quả quan trọng, tuy nhiên phần lớn tập trung vào mô hình va chạm tổng thể của xe hoặc sử dụng mô hình phần tử hữu hạn phức tạp với chi phí tính toán lớn. Các nghiên cứu mô phỏng tương tác giữa cơ thể người và hệ thống đai an toàn dưới dạng mô hình động lực học đơn giản hóa nhằm đánh giá nhanh

các chỉ tiêu tổn thương vùng ngực trong điều kiện vận hành thực tế còn tương đối hạn chế. Vì vậy, trong nghiên cứu này, cơ thể người lái được mô hình hóa bằng hệ khối lượng – lò xo – giảm chấn gồm các phần tử biểu diễn khung xương ngực, cột sống và đặc tính đàn hồi của lồng ngực. Mô hình lực tác dụng lên người lái được trình bày ở Hình 1, trong đó các phương trình động lực học (1), (2), (3), (4) được xây dựng dựa trên nguyên lý cân bằng động lực học và mô hình dao động nhiều bậc tự do của hệ người – dây đai – ghế ngồi [2], [5]. Phương trình giảm tốc của phương tiện trong quá trình va chạm được mô tả bằng hàm thực nghiệm theo công thức (5), thường được sử dụng trong các mô hình mô phỏng va chạm ô tô để biểu diễn sự biến thiên gia tốc theo thời gian va đập [5].

Trong nghiên cứu này, các thông số động lực học của mô hình như khối lượng tương đương vùng ngực, độ cứng lồng ngực, hệ số giảm chấn và các thông số đàn hồi của hệ dây đai được tham khảo và hiệu chỉnh từ các nghiên cứu thực nghiệm và mô hình hóa va chạm đã công bố trước đây [2], [5]. Việc lựa chọn các thông số này nhằm bảo đảm mô hình phản ánh được đặc tính biến dạng và hấp thụ năng lượng của cơ thể người trong quá trình va chạm.

Sự phát triển của các công cụ mô phỏng hiện đại như Matlab/Simulink cho phép xây dựng và giải nhanh các hệ phương trình động lực học phức tạp, đồng thời hỗ trợ đánh giá các kịch bản va chạm với nhiều điều kiện vận hành khác nhau [6]. Trên cơ sở đó, bài báo tập trung xây dựng mô hình động lực học của hệ thống đai an toàn cho người lái và ứng dụng mô phỏng số để phân tích các đặc trưng làm việc của hệ thống trong các điều kiện va chạm khác nhau. Kết quả nghiên cứu góp phần làm rõ cơ chế tác động của đai an toàn đến cơ thể người, đồng thời cung cấp cơ sở tham khảo cho việc đánh giá và nâng cao an toàn vận hành phương tiện cơ giới trong điều kiện thực tế.

## 2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### ○ Đối tượng nghiên cứu

- Đối tượng nghiên cứu: đai an toàn cho người lái.

- Sử dụng phần mềm Matlab Simulink mô phỏng đai an toàn trên ô tô.

### ○ Phương pháp nghiên cứu

#### 2.2.1. Phương pháp kế thừa tài liệu

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Xây dựng mô hình tính toán hệ thống đai an toàn cho người lái

Trong quá trình xảy ra va chạm, cơ thể người lái chịu tác động đồng thời của quán tính chuyển động và lực ràng buộc từ hệ thống đai an toàn. Dưới tác động của giảm tốc đột ngột của phương tiện, phần thân trên của người lái có xu hướng tiếp tục chuyển động theo phương chuyển động ban đầu, làm xuất hiện các lực tác dụng lớn lên vùng ngực và cột sống. Để đánh giá đặc tính làm việc của hệ thống đai an toàn và mức độ ảnh hưởng đến cơ thể người lái, nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình động lực học người – dây đai dưới dạng hệ dao động nhiều bậc tự do.

Mô hình nghiên cứu được xây dựng trên cơ sở kế thừa các nghiên cứu mô hình hóa động lực học cơ thể người trong va chạm của Carneiro và cộng sự [2], kết hợp với các mô hình toán học đánh giá khả năng chịu va chạm của phương tiện được trình bày trong

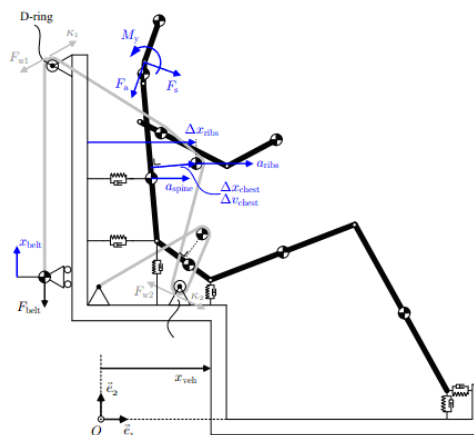
Thu thập, sưu tầm các tài liệu chuyên môn liên quan đến lĩnh vực động lực học của xe ô tô để làm cơ sở cho việc nghiên cứu lý thuyết.

### 2.2.2. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Sử dụng lý thuyết ô tô, cơ học kỹ thuật để xây dựng mô phỏng đánh giá tính an toàn của hệ thống đai an toàn.

nghiên cứu của Gulshan Noorsumar và cộng sự [5]. Điểm mới của nghiên cứu là xây dựng mô hình tương tác người lái – đai an toàn – chuyển động giảm tốc của xe dưới dạng mô hình khối lượng – lò xo – giảm chấn nhằm đánh giá trực tiếp các chỉ tiêu tổn thương vùng ngực trong các điều kiện vận tốc va chạm khác nhau. So với các nghiên cứu sử dụng mô hình phần tử hữu hạn có độ phức tạp cao, mô hình đề xuất cho phép giảm khối lượng tính toán nhưng vẫn phản ánh được đặc trưng động lực học chủ yếu của hệ thống đai an toàn trong quá trình va chạm.

Trong mô hình, vùng ngực của người lái được biểu diễn bằng các phần tử khối lượng tập trung, phần tử đàn hồi và phần tử giảm chấn. Các lực tác dụng lên người lái theo phương chuyển động ngang của xe được trình bày như trên Hình 1, bao gồm gia tốc vùng cột sống, biến dạng lồng ngực, tốc độ nén lồng ngực, chuyển vị xương ức và lực tác dụng của dây đai an toàn.

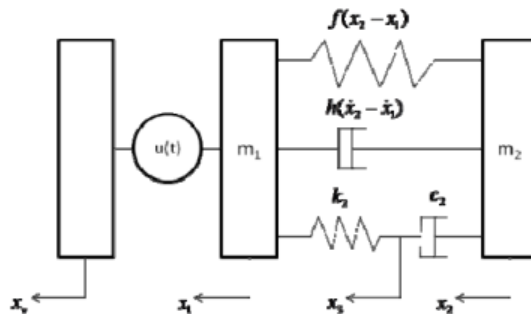


Hình 1. Biểu diễn các lực tác dụng lên người lái

Trong đó:

- $a_{spine}$ : gia tốc cột sống ở phía trước
- $\Delta x_{chest}$ : độ bị nén của khung xương ngực
- $\Delta v_{chest}$ : tốc độ bị nén của khung xương ngực
- $\Delta x_{ribs}$ : sự chuyển đổi xương ức ở phía trước, phía trong của xe
- $x_{belt}$ : giới thiệu cơ rút tại dây đai
- $a_{ribs}$ : gia tốc xương ức ở phía trước
- $F_{belt}$ : Lực dây đai

Khối lượng  $m_1$  biểu diễn khối lượng tương đương của vùng xương sườn và khung xương ngực. Khối lượng  $m_2$  biểu diễn phần khối lượng cơ thể liên kết với vùng ngực thông qua cột sống. Các phần tử đàn hồi và giảm chấn được sử dụng để mô tả khả năng biến dạng và hấp thụ năng lượng của lồng ngực khi chịu tác động của lực dây đai trong quá trình va chạm. Cấu trúc mô hình cơ học được thể hiện trên Hình 2.



**Hình 2.** Mô hình giảm chấn và lò xo mô phỏng đặc tính đàn hồi phù hợp và phân tán của lực khi ngực bị va đập

Động lực học của hệ được xây dựng dựa trên nguyên lý cân bằng lực và phương trình dao động của hệ nhiều bậc tự do. Các phương trình vi phân mô tả chuyển động của hệ được xác định như sau [2], [5]:

$$m_1 \ddot{x}_1 = -u + f(x_2 - x_1) + h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + k_2(x_3 - x_1) \quad (1)$$

$$m_2 \ddot{x}_2 = -f(x_2 - x_1) - h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) - c_2(x_3 - x_1) \quad (2)$$

$$m_3 \ddot{x}_3 = -c_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - k_2(x_3 - x_1) \quad (3)$$

$$\ddot{x}_v = a(t) \quad (4)$$

Trong đó:

- $x_1, x_2, x_3$  là chuyển vị của các phần tử khối lượng;
- $u$  là lực tác dụng của dây đai an toàn;
- $f(x_2 - x_1)$  là lực đàn hồi của lồng ngực;
- $h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1)$  là lực cản nhớt của vùng ngực;
- $k_2, c_2$  là hệ số độ cứng và giảm chấn của hệ liên kết.

Trong mô hình, chuyển động của xe được quyết định bởi qui luật của giảm tốc với các điều kiện đầu là:

$$x_1(0) = 0, \quad x_2(0) = 0, \quad x_3(0) = 0, \quad x_v(0) = 0$$

$$\dot{x}_1(0) = v_0, \quad \dot{x}_2(0) = v_0, \quad \dot{x}_3(0) = v_0, \quad \dot{x}_v(0) = v_0$$

Phương trình (1), (2), (3) được xây dựng nhằm mô tả tương tác động lực học giữa vùng

ngực, cột sống và hệ thống đai an toàn trong quá trình giảm tốc đột ngột của phương tiện. So với các mô hình truyền thống chỉ xét chuyển động tuyến tính đơn giản, mô hình này cho phép đánh giá đồng thời biến dạng lồng ngực, lực dây đai và tốc độ nén vùng ngực theo thời gian va chạm.

Trong nghiên cứu này, quy luật giảm tốc của phương tiện trong quá trình va chạm được mô tả theo dạng hàm thực nghiệm nửa sin, thường được sử dụng trong các nghiên cứu mô phỏng va chạm ô tô nhằm phản ánh đặc tính thay đổi gia tốc theo thời gian va đập [5]. Gia tốc giảm tốc của xe được xác định theo công thức:

$$a(t) = \begin{cases} -A \sin\left(\frac{\pi t}{T_p}\right) & 0 \leq t \leq T_p \\ 0 & t > 0 \end{cases} \quad (5)$$

Trong đó:

- $A$  là gia tốc cực đại của xe khi va chạm;
- $T_p$  là thời gian va chạm;
- $t$  là thời gian khảo sát.

Biên độ của giảm tốc được xác định bằng công thức:

$$A = \frac{\pi v_0}{2T_p} \quad (6)$$

Với  $v_0$  là vận tốc trước va chạm của phương tiện.

Lực đàn hồi của lòng ngực được tuyến tính hóa theo biểu thức [2], [5]:

$$f(x_2 - x_1) = \begin{cases} k_{11}(x_2 - x_1) & \text{if } 0 \leq (x_2 - x_1) \leq \delta_0 \\ k_{12}(x_2 - x_1) - F_0 & \text{if } (x_2 - x_1) > \delta_0 \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó  $F_0 = (k_{12} - k_{11})\delta_0$

Ngoài ra, lực giảm chấn h, tỷ lệ với tốc độ va đập của lòng ngực, được tính như sau:

$$h(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = \begin{cases} c_{11}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) & \text{if } (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \geq 0 \\ c_{12}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) & \text{if } (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Các thông số động lực học sử dụng trong mô hình được tham khảo và hiệu chỉnh từ các nghiên cứu thực nghiệm về mô hình hóa vùng ngực và hệ thống đai an toàn trong va chạm ô tô của Carneiro và cộng sự [2], Gulshan Noorsumar và cộng sự [5], kết hợp với các thông số thường được sử dụng trong mô hình mô phỏng hệ cơ học trên Matlab/Simulink [6]. Các thông số phục vụ mô phỏng được trình bày trong Bảng 1.

TT	Thông số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị	Nguồn tham khảo
1.	Khối lượng vùng xương ngực	$m_1$	0.3	kg	[2], [5]
2.	Khối lượng cơ thể liên kết ngực	$m_2$	18	kg	[2], [5]
3.	Độ cứng lòng ngực lớn	$k_{11}$	10522	N/m	[2]
4.	Độ cứng lòng ngực nhỏ	$k_{12}$	7190	N/m	[2]
5.	Biên dạng ban đầu	$\delta_0$	0.03	m	[2]
6.	Hệ số giảm chấn phục hồi	$c_{11}$	403.3	N.s/m	[5]
7.	Hệ số giảm chấn nén	$c_{12}$	2192.1	N.s/m	[5]
8.	Độ cứng hệ lò xo giảm chấn	$k_2$	13153	N/m	[5], [6]
9.	Hệ số giảm chấn	$c_2$	175.4	N.s/m	[5], [6]
10.	Hệ số độ cứng hạn chế	$k$	105	N/m	[6]

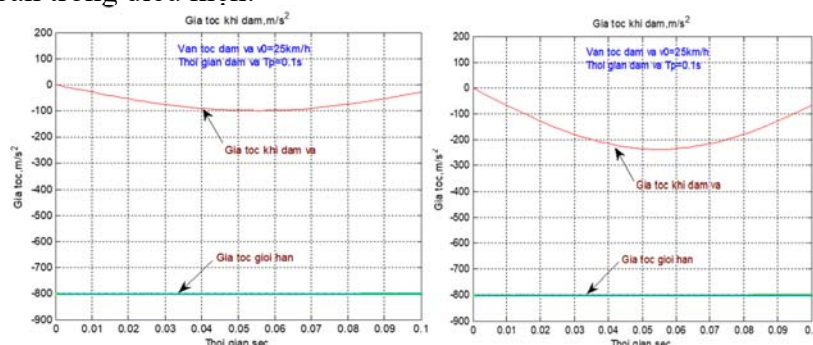
Trên cơ sở mô hình toán học và các thông số đã xác định, nghiên cứu tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng trên Matlab/Simulink nhằm đánh giá các chỉ tiêu động lực học của hệ thống đai an toàn trong các điều kiện va chạm với vận tốc khác nhau.

### 3.2. Kết quả mô phỏng

Tính toán các chỉ tiêu động lực học của hệ thống đai an toàn trong điều kiện:

Vận tốc khi đâm va  $v_0 = 25\text{km/h}$ ,  $v_0 = 60\text{km/h}$ , thời gian khảo sát  $T_p=0.1\text{s}$ . Kết quả thu được biểu diễn dưới dạng đồ thị và bảng số liệu:

#### 3.2.1. Đồ thị gia tốc khi đâm va



a. Vận tốc va chạm  $v_0=25\text{km/h}$

b. Vận tốc va chạm  $v_0=60\text{km/h}$

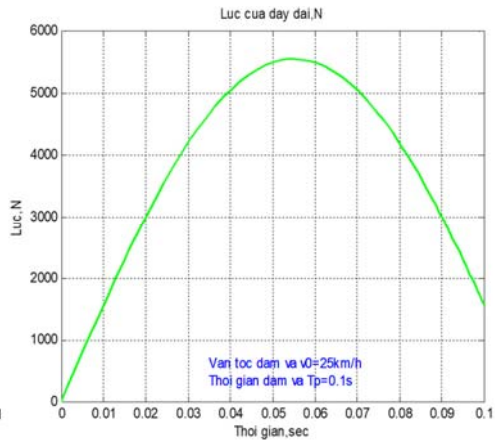
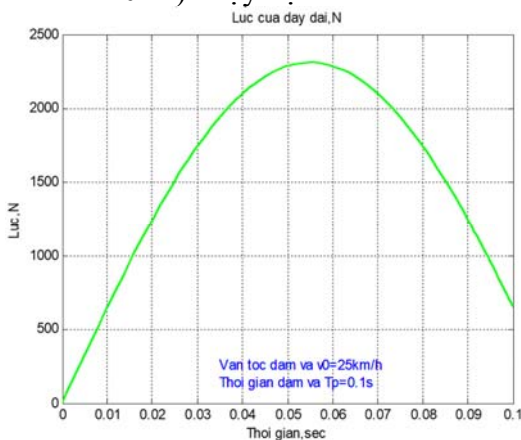
Hình 3. Biểu diễn sự biến đổi của gia tốc ô tô khi đâm va

Quan sát trên Hình 3a ta thấy, trong trường hợp tốc độ trước khi đâm va  $v_0 = 25\text{km/h}$  và thời gian va chạm  $T_p = 0.1\text{s}$  thì gia tốc đạt giá trị cực đại  $a_{\text{max}} = 110\text{m/s}^2$  ( $a_{\text{max}} \approx 12\text{g}$ ) ở thời điểm  $t=0.05\text{s}$ . Sau đó gia tốc giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ). Trên đồ thị 3.1b ta thấy tốc độ trước khi đâm va thay đổi  $v_0 = 60\text{km/h}$  thì gia tốc đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó  $a_{\text{max}} = 270\text{m/s}^2$  ( $a_{\text{max}} \approx 28\text{g}$ ) Sau đó gia tốc cũng giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ). Vậy vận tốc trước khi

đâm va thay đổi sẽ dẫn đến gia tốc thay đổi, giá trị cực đại của gia tốc ngược trong giới hạn cho phép (80g).

### 3.2.2. Đồ thị lực của dây đai

Quan sát trên Hình 4a ta thấy, trong trường hợp tốc độ trước khi đâm va  $v_0=25\text{km/h}$  và thời gian va chạm  $T_p = 0.1\text{s}$  thì lực của dây đai đạt giá trị cực đại  $u_{\text{max}}=2900\text{N}$  ở thời điểm  $t=0.05\text{s}$ . Sau đó lực của dây đai giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ).



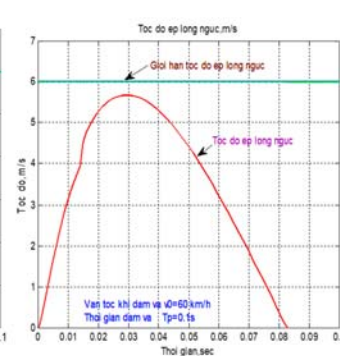
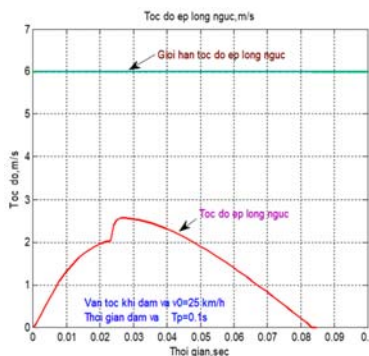
a. Vận tốc va chạm  $v_0=25\text{km/h}$  b. Vận tốc va chạm  $v_0=60\text{km/h}$

**Hình 4.** Biểu diễn sự biến đổi lực dây đai khi đâm va

Trên Hình 4b ta thấy tốc độ trước khi đâm va thay đổi  $v_0 = 60\text{km/h}$  thì lực của dây đai đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó  $u_{\text{max}} = 7000\text{N}$ . Sau đó lực của dây đai cũng giảm dần về không ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ).

### 3.2.3. Đồ thị chuyển vị tốc độ nén lồng ngực

Quan sát trên Hình 5a ta thấy, trong trường hợp vận tốc trước khi đâm va  $v_0 = 25\text{km/h}$  và thời gian va chạm  $T_p = 0.1\text{s}$  thì vận tốc nén lồng ngực đạt giá trị cực đại  $y_{\text{max}} = 2.4\text{m/s}$  ở thời điểm  $t=0.04\text{s}$ . Sau đó tốc độ nén lồng ngực giảm dần về dưới không  $v = - 0.02\text{m/s}$  ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ).



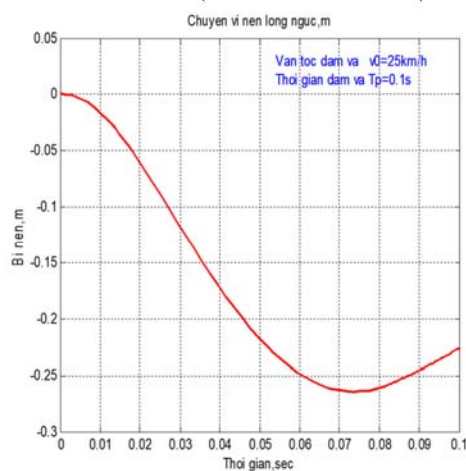
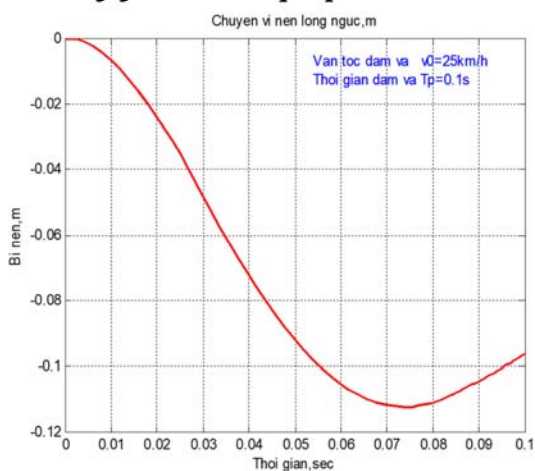
a. Vận tốc va chạm  $v_0=25\text{km/h}$  b. Vận tốc va chạm  $v_0=60\text{km/h}$

**Hình 5.** Biểu diễn sự biến đổi của tốc độ nén lồng ngực khi đâm va

Trên Hình 5b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi  $v_0 = 60\text{km/h}$  thì tốc độ nén lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó  $v_{\text{max}} = 5.9\text{m/s}$ . Sau đó ốc độ ép lồng ngực cũng giảm dần về dưới không  $v = -0.1\text{m/s}$  ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ). Như vậy vận tốc trước khi đâm va thay đổi và sẽ dẫn đến tốc độ nén lồng ngực thay đổi giá trị cực đại của tốc độ trong giới hạn cho phép là  $6\text{m/s}$ .

### 3.2.4. Đồ thị chuyển vị biến dạng tuyệt đối của lồng ngực

Quan sát trên Hình 6a ta thấy, trong trường hợp vận tốc trước khi đâm va  $v_0 = 25\text{km/h}$  và thời gian va chạm  $T_p = 0.1\text{s}$  thì biến dạng tuyệt đối của lồng ngực đạt giá trị cực đại ( $-0.11\text{m}$ ) ở thời điểm  $t=0.08\text{s}$ . Sau đó biến dạng tuyệt đối của lồng ngực tăng dần  $-0.8\text{m}$  ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ).



a. Vận tốc va chạm  $v_0=25\text{km/h}$

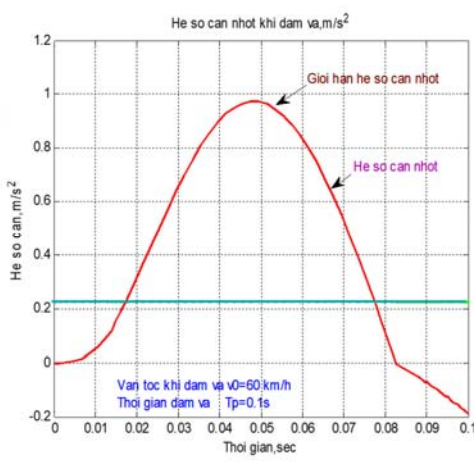
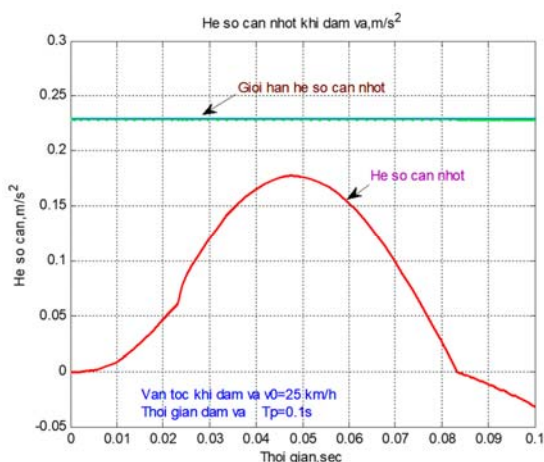
b. Vận tốc va chạm  $v_0=60\text{km/h}$

**Hình 6.** Biểu diễn sự biến đổi của biến dạng lồng ngực khi đâm va

Trên Hình 6b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi  $v_0 = 60\text{km/h}$  thì biến dạng tuyệt đối của lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi và khi đó  $0.27\text{m}$ . Sau đó biến dạng tuyệt đối của lồng ngực cũng tăng dần ở thời điểm kết

thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ). Như vậy vận tốc trước khi đâm va thay đổi và sẽ dẫn đến biến dạng tuyệt đối của lồng ngực thay đổi giá trị cực đại của tốc độ.

### 3.2.5. Đồ thị chuyển vị hệ số cản nhót



a. Vận tốc va chạm  $v_0=25\text{km/h}$

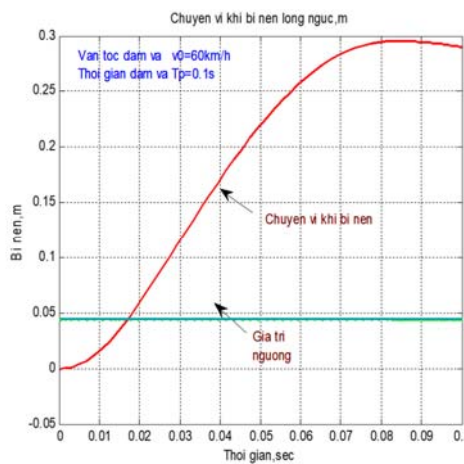
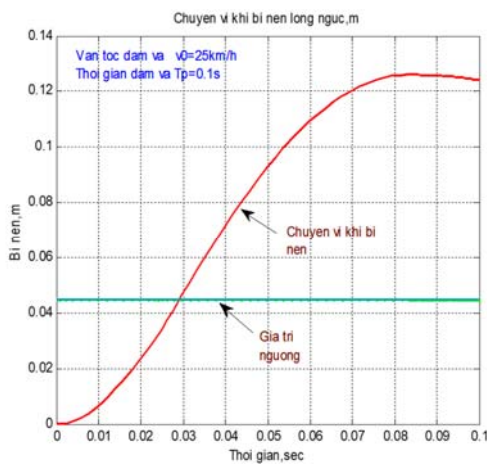
b. Vận tốc va chạm  $v_0=60\text{km/h}$

**Hình 7.** Biểu diễn sự biến đổi của hệ số cản nhót khi đâm va

Trên Hình 7b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi  $v_0 = 60\text{km/h}$  thì hệ số cản nhót của lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi bằng  $1.18\text{m}^2/\text{s}$ . Sau đó biến dạng tuyệt đối của lồng ngực cũng giảm dần ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ). Như vậy vận tốc khi đâm va thay đổi và sẽ dẫn đến biến dạng tuyệt đối của hệ số cản nhót thay đổi giá trị cực đại của tốc độ, ở tốc độ  $v_0=60\text{km/h}$  thì giá trị cực đại của hệ số cản nhót của lồng ngực nằm ngoài giá trị tồn thương là  $0.229\text{m}^2/\text{s}$ .

**3.2.6. Đồ thị chuyển vị khi bị nén lồng ngực**

Quan sát trên Hình 8a ta thấy, trong trường hợp vận tốc trước khi đâm va  $v_0 = 25\text{km/h}$  và thời gian va chạm  $T_p = 0.1\text{s}$  thì chuyển vị bị nén của lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi bằng  $0.13\text{m}$  ở thời điểm  $t=0.08\text{s}$ . Sau đó chuyển vị bị nén của lồng ngực giảm dần ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ).



a. Vận tốc va chạm  $v_0=25\text{km/h}$       b. Vận tốc va chạm  $v_0=60\text{km/h}$   
**Hình 8.** Biểu diễn biến đổi chuyển vị bị nén của lồng ngực khi đâm va

Trên Hình 8b ta thấy vận tốc trước khi đâm va thay đổi  $v_0 = 60\text{km/h}$  thì chuyển vị bị nén của lồng ngực đạt giá trị cực đại thay đổi và bằng  $0.3\text{m}$ . Sau đó biến dạng của lồng ngực cũng giảm dần ở thời điểm kết thúc đâm va (thời điểm  $t=0.1\text{s}$ ). Như vậy vận tốc khi đâm va

va thay đổi và sẽ dẫn đến biến dạng bị nén của lồng ngực thay đổi giá trị cực đại, ở tốc độ đâm va thì các giá trị cực đại ở chuyển vị bị nén của lồng ngực vượt quá giá trị ngưỡng  $0.045\text{m}$ .

**4. KẾT LUẬN**

Qua phân tích, đánh giá các thông số cũng như các nhân tố ảnh hưởng tồn thương của lồng ngực khi đâm va và thu được các kết quả như sau:

Đề bảo đảm hành khách sẽ không bị thương nghiêm trọng, những giới hạn trên không được vượt quá. Tác giả sử dụng cùng giá trị giới hạn của hệ số cản nhót của lồng ngực nhưng tính với gia tốc là  $80g$  biến dạng nén là  $0.045\text{m}$ . Các kết quả nghiên cứu được trình bày trên hình bao gồm chuyển vị khi bị nén của lồng ngực  $[x_2(t)-x_1(t)]$ , tốc độ khi nén

$[\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)]$ , biến dạng tuyệt đối của lồng ngực  $[x_2(t) - x_1(t)]$  lúc đây đây, hệ số cản nhót  $[\dot{x}_2(t) - \dot{x}_1(t)][x_2(t) - x_1(t)]$  gia tốc chuyển động của lồng ngực  $\ddot{x}_2(t)$  là hàm của thời gian. Kết quả cho thấy, biến dạng của lồng ngực ở vận tốc đâm va  $v_0=25\text{km/h}$  là:  $0.13\text{m}$  và ở vận tốc đâm va  $v_0=60\text{km/h}$  là:  $0.3\text{m}$ .

Như vậy đã vượt quá giá trị ngưỡng  $0.045\text{m}$  một khoảng như trên hình 10. Với giá trị này, người lái xe sẽ bị dây đai làm tổn thương nghiêm trọng. Ngoài ra, giá trị cực đại của biến dạng vùng ngực quan sát được ở gần vùng kết thúc va đập.

Từ đồ thị cho thấy, tốc độ ép ứng với giới hạn tổn thương người là: 6m/s. Người lái sẽ chuyển vị về phía trước khoảng 5cm do kết quả của lực dây đai lớn. Sau khi kết thúc đâm va, người lái dịch chuyển về phía sau vì không có lực tác động từ dây đai trong mô hình để hạn chế chuyển động theo hướng này.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. PGS.TS Nguyễn Khắc Trai (1997), “Tính điều khiển và quỹ đạo chuyển động của ô tô”, nhà xuất bản giao thông vận tải.
2. Carneiro, J., De Melo, F., Pereira, J. & Teixeira, V (2005), “Pseudo-dynamic Method for Structural Analysis of Automobile Seats”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K-Journal of Multi-Body Dynamics, Vol. 219, No. 4, 2005, 337-344.
3. Usama Idrees, Sajjad Ahmad, Imtiaz, Alam Shah, Muhammad Talha, Rehman Shehzad, Muhammad Amjad, Seyed Saeid Rahiamin Kolor (2023), “Finite element analysis of car frame frontal crash using lightweight materials”, Journal of Engineering Research, Volume 11, Issue 1, March 2023, 100007.
4. Andrew Hickey, Shaoping Xiao (2017), “Finite Element Modeling and Simulation of Car

Các kết luận với các đồ thị còn lại cũng tương tự như đối với tốc độ ép lồng ngực khi đâm va nhưng với các biên độ khác nhau. Giá trị cực đại của hệ số cản nhót của lồng ngực trong giới hạn tổn thương là 0.229 m2/s. Ngoài ra, giá trị cực đại của gia tốc ngực trong giới hạn (80g).

- Crash”, International Journal of Modern Studies in Mechanical Engineering (IJMSME) Volume 3, Issue 1, 2017, PP 1-5 ISSN 2454-9711 .
5. Gulshan Noorsumar, Svitlana Rogovchenko, Kjell G. Robbersmyr & Dmitry Vysochinskiy (2022), “Mathematical models for assessment of vehicle crashworthiness: a review”, International Journal of Crashworthiness, 27:5, 1545-1559, DOI: 10.1080/13588265.2021.1929760.
6. ThS. Nguyễn Hoàng Hải, Nguyễn Việt Anh (2000), “Lập trình Matlab và ứng dụng”, nhà xuất bản khoa học kỹ thuật” .

- Ngày gửi bài: 28/04/2026

- Ngày phản biện: 22/05/2026

- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026

## NGHIÊN CỨU, THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO BỘ THU THẬP DỮ LIỆU CHO HỆ THỐNG ĐIỆN NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI ÁP MÁI

Nguyễn Nam Quyền, Nguyễn Văn Lành\*, Lê Võ Minh Khang, Phạm Nguyên Hào<sup>1</sup>

### TÓM TẮT

Hệ thống điện mặt trời áp mái quy mô nhỏ đang phát triển mạnh tại Việt Nam nhằm góp phần thực hiện mục tiêu Net-Zero vào năm 2050. Tuy nhiên, việc thiếu hệ thống giám sát tự động dẫn đến khó khăn trong phát hiện sớm sự suy giảm hiệu suất. Nghiên cứu này đã thiết kế và chế tạo bộ thu thập dữ liệu dựa trên nền tảng Arduino Mega 2560 kết hợp ESP32. Bộ thu tích hợp các cảm biến đo bức xạ mặt trời (INA219), điện áp DC (ES-K12 cách ly), dòng điện (WCS1500), nhiệt độ tấm pin (DS18B20), nhiệt độ và độ ẩm không khí (SHT30), tốc độ gió và bụi mịn (PMS5003). Kết quả khảo nghiệm thực tế trên hệ thống 3 kWp trong 3 tháng cho thấy sai số đo bức xạ  $\pm 4,5\%$ , sai số điện áp và dòng điện  $\pm 2,8\%$ , nhiệt độ  $\pm 0,6^\circ\text{C}$ . Hiệu suất hệ thống dao động từ 11,3% đến 12,6% khi bức xạ thay đổi từ 560 đến 985 W/m<sup>2</sup>. Dữ liệu được hiển thị thời gian thực trên màn hình HMI, lưu trữ trên thẻ SD và truyền qua MQTT. Bộ thu cung cấp giải pháp chi phí thấp, ổn định và có giá trị ứng dụng thực tiễn cao cho giám sát hệ thống điện mặt trời áp mái quy mô nhỏ.

**Từ khóa:** Arduino Mega 2560, bộ thu thập dữ liệu, giám sát hiệu suất, IoT, năng lượng mặt trời áp mái

## RESEARCH, DESIGN AND DEVELOPMENT OF A DATA ACQUISITION UNIT FOR A ROOFTOP SOLAR ENERGY SYSTEM

### ABSTRACT

Rooftop solar power systems play a vital role in Vietnam's Net-Zero target by 2050. However, the lack of automatic monitoring systems remains a significant challenge for early detection of performance degradation. This study designed and fabricated a data acquisition unit based on Arduino Mega 2560 and ESP32. The device integrates multiple sensors to measure solar irradiance (INA219), DC voltage (isolated ES-K12), current (WCS1500), panel temperature (DS18B20), air temperature and humidity (SHT30), wind speed, and particulate matter (PMS5003). Field testing on a 3 kWp system over 3 months showed measurement errors of  $\pm 4.5\%$  for irradiance,  $\pm 2.8\%$  for voltage and current, and  $\pm 0.6^\circ\text{C}$  for temperature. System efficiency ranged from 11.3% to 12.6% under irradiance of 560–985 W/m<sup>2</sup>. The unit displayed data in real-time on HMI, stored on SD card, and transmitted via MQTT. The developed system provides a low-cost, stable, and practical solution for monitoring small-scale rooftop solar systems.

**Keywords:** Arduino Mega 2560, data acquisition unit, IoT, rooftop solar power, performance monitoring.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Năng lượng mặt trời là một trong những nguồn năng lượng tái tạo quan trọng và bền vững, ngày càng được ứng dụng rộng rãi trên toàn cầu, đặc biệt trong bối cảnh nhu cầu về năng lượng sạch và bảo vệ môi trường ngày càng gia tăng [1]. Năng lượng mặt trời không chỉ giúp giảm thiểu sự phụ thuộc vào các nguồn năng lượng hóa thạch mà còn đóng góp vào việc giảm lượng khí thải CO<sub>2</sub>, bảo vệ tài nguyên thiên nhiên và thúc đẩy sự phát triển bền vững. Trong các ứng dụng năng lượng mặt trời, hệ thống điện mặt trời mái nhà đang trở thành giải pháp phổ biến cho hộ gia đình, doanh nghiệp nhỏ, và đặc biệt là

trong các khu vực nông thôn, nơi việc sử dụng năng lượng sạch và tự cung tự cấp là rất cần thiết [2], [3].

Tuy nhiên, một hạn chế lớn đối với việc triển khai và vận hành các hệ thống điện mặt trời là sự giảm sút hiệu suất hoạt động của các tấm pin theo thời gian do ảnh hưởng của các yếu tố môi trường như nhiệt độ cao, độ ẩm, bụi bẩn và bụi mịn [4], [5]. Việc thiếu hệ thống giám sát tự động và liên tục khiến người sử dụng khó phát hiện sớm các bất thường, dẫn đến giảm hiệu quả vận hành, tăng chi phí bảo trì và rút ngắn tuổi thọ hệ thống [6], [7].

<sup>1</sup> Khoa Cơ khí – Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm TP.HCM

\*Email: [nvlanh@hcmuaf.edu.vn](mailto:nvlanh@hcmuaf.edu.vn)

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về hệ thống giám sát IoT cho pin mặt trời trong và ngoài nước, hầu hết các công trình tập trung vào hệ thống quy mô lớn (utility-scale) hoặc sử dụng các nền tảng thương mại đắt tiền, khó tiếp cận với hộ gia đình và doanh nghiệp nhỏ [8]. Tại Việt Nam, các giải pháp hiện có cho hệ thống áp mái quy mô nhỏ còn khá hạn chế, chủ yếu dựa vào phương pháp đo thủ công hoặc các hệ thống đơn giản thiếu tích hợp đa thông số [3], [9].

Khoảng trống nghiên cứu nằm ở việc thiếu một bộ thu thập dữ liệu chi phí thấp, mã nguồn mở, dễ triển khai, có khả năng tích hợp

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Vật liệu nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, bộ thu thập dữ liệu giám sát các thông số hoạt động hệ thống điện mặt trời được thiết kế và chế tạo dựa trên nền tảng phần cứng mở, sử dụng các linh kiện điện tử thông dụng nhưng có độ chính xác cao và chi phí hợp lý. Các vật liệu chính được sử dụng trong nghiên cứu bao gồm:

Vi điều khiển Arduino Mega 2560 được sử dụng làm bộ điều khiển trung tâm của hệ thống, với nhiều chân I/O (I2C, UART, SPI, Analog), giúp kết nối các cảm biến và module khác nhau. ESP32 được sử dụng để xử lý kết nối mạng (Wi-Fi, MQTT), hỗ trợ truyền tải dữ liệu từ bộ thu thập dữ liệu tới các thiết bị khác hoặc nền tảng trực tuyến.

Cảm biến INA219 được sử dụng để đo dòng điện ngắn mạch (Isc), một yếu tố quan trọng trong việc tính toán hiệu suất tấm pin và bức xạ mặt trời. Cảm biến WCS1500 đo dòng điện của tấm pin và sử dụng tải để đo dòng điện thực tế trong hệ thống điện mặt trời.

Cảm biến ES-K12 được sử dụng để đo điện áp DC đầu ra của hệ thống pin mặt trời, kết hợp với dòng điện để tính toán công suất thực tế của hệ thống. ES-K12 có khả năng đo trong dải từ (0-1500V), độ chính xác cao và thiết kế cách ly an toàn, phù hợp cho việc

đồng thời nhiều thông số quan trọng (bức xạ mặt trời, điện áp, dòng điện, nhiệt độ tấm pin, thông số môi trường và bụi mịn), đồng thời được kiểm chứng thực tế dài hạn trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa đặc trưng của Việt Nam.

Công trình này nhằm lấp khoảng trống nghiên cứu trên thông qua việc nghiên cứu, thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm một bộ thu thập dữ liệu hoàn chỉnh dựa trên nền tảng phần cứng mở (Arduino Mega 2560 kết hợp ESP32), với chi phí hợp lý, độ tin cậy cao và khả năng ứng dụng rộng rãi cho các hộ gia đình nông thôn cũng như xưởng sản xuất nhỏ.

giám sát các hệ thống điện mặt trời công suất lớn.

Cảm biến SHT30 được sử dụng để đo nhiệt độ và độ ẩm môi trường, giúp đánh giá các yếu tố môi trường có ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống điện mặt trời. SHT30 có độ chính xác cao, kháng nước, kháng bụi và khả năng hoạt động ổn định trong dải nhiệt độ và độ ẩm rộng.

Cảm biến DS18B20 được sử dụng để đo nhiệt độ bề mặt của tấm pin năng lượng mặt trời, giúp xác định mức độ ảnh hưởng của nhiệt độ tế bào quang điện đến sự sụt giảm hiệu suất. Cảm biến có độ bền cao, chống thấm nước và hỗ trợ giao tiếp.

Cảm biến Anemometer được sử dụng để đo tốc độ gió tại khu vực lắp đặt, giúp đánh giá khả năng làm mát tự nhiên đối với hệ thống pin mặt trời. Tốc độ gió là dữ liệu quan trọng để phân tích sự cân bằng nhiệt và dự đoán hiệu suất vận hành của hệ thống trong các điều kiện khí hậu khác nhau.

Cảm biến PMS5003, đây là cảm biến đo bụi mịn, bao gồm các kích cỡ PM1.0, PM2.5 và PM10, giúp xác định nồng độ bụi trong không khí, một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến khả năng hấp thụ ánh sáng của tấm pin mặt trời.

Module RTC (Real Time Clock) DS3231 được sử dụng để ghi lại thời gian thực, giúp lưu trữ dữ liệu chính xác và đồng bộ hóa thời gian của các thông số đo lường.

Màn hình cảm ứng HMI được sử dụng để hiển thị dữ liệu theo thời gian thực, tạo giao diện người dùng dễ dàng thao tác và theo dõi hiệu suất hệ thống. Màn hình này giúp người dùng dễ dàng nhận diện các thông số như điện áp, dòng điện, công suất, và các thông số môi trường.

Thẻ SD được sử dụng để lưu trữ dữ liệu đo lường theo thời gian thực. Dữ liệu này sẽ được lưu trữ dưới dạng các tệp CSV để người dùng có thể dễ dàng truy xuất và phân tích sau này.

Các linh kiện khác: Ngoài các linh kiện chính trên, hệ thống còn sử dụng các điện trở, tụ điện, diodes, và các linh kiện điện tử cơ bản khác để đảm bảo mạch điện hoạt động ổn định và chính xác.

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp thiết kế và chế tạo hệ thống giám sát điện mặt trời, bao gồm các bước như thiết kế sơ đồ khối, lắp ráp phần cứng, lập trình phần mềm và thử nghiệm thực tế. Phương pháp nghiên cứu được chia thành các phần sau:

### 2.2.1. Phương pháp thiết kế và chế tạo hệ thống

Phương pháp thiết kế hệ thống tập trung vào việc lựa chọn các cảm biến và vi điều khiển phù hợp với yêu cầu của nghiên cứu. Các cảm biến được lựa chọn dựa trên độ chính xác, khả năng tương thích với các linh kiện khác, và chi phí hợp lý. Hệ thống được thiết kế với sơ đồ khối bao gồm các khối cảm biến, khối xử lý (vi điều khiển), khối lưu trữ, và khối truyền dữ liệu.

Các linh kiện được kết nối đảm bảo các tín hiệu đo lường từ các cảm biến có thể được thu thập, xử lý và lưu trữ một cách chính xác. Đặc biệt, việc sử dụng phần cứng mở (Arduino và ESP32) giúp giảm chi phí và tạo điều kiện thuận lợi cho việc phát triển hệ thống trong tương lai.

### 2.2.2. Phương pháp lắp ráp và kiểm tra phần cứng

Sau khi thiết kế hệ thống, bước tiếp theo là lắp ráp các linh kiện và kết nối chúng thành

một hệ thống hoàn chỉnh. Việc lắp ráp bao gồm kết nối các cảm biến với vi điều khiển qua các giao thức như I2C, UART, SPI, và Analog. Cảm biến INA219, WCS 1500, ES-K12, SHT30, DS18B20, Anemometer, PMS5003, module RTC DS3231, và màn hình HMI được lắp đặt vào mạch và kết nối với vi điều khiển.

Kiểm tra phần cứng được thực hiện theo từng bước để đảm bảo tính ổn định và hoạt động chính xác của hệ thống. Quá trình này bao gồm việc kiểm tra các tín hiệu đầu vào và đầu ra từ các cảm biến, đảm bảo rằng hệ thống có thể thu thập và xử lý dữ liệu chính xác.

### 2.2.3. Phương pháp lập trình phần mềm

Phần mềm được lập trình sử dụng ngôn ngữ C/C++ trên nền tảng Arduino IDE. Phần mềm chịu trách nhiệm điều khiển toàn bộ hoạt động của hệ thống, bao gồm việc thu thập dữ liệu từ các cảm biến, xử lý và tính toán các thông số kỹ thuật, và hiển thị dữ liệu trên màn hình HMI. Dữ liệu thu thập được cũng được lưu trữ trên thẻ SD dưới dạng tệp CSV để phục vụ cho việc phân tích và đánh giá sau này.

Phần mềm cũng thực hiện kết nối với mạng Wi-Fi qua ESP32 để truyền tải dữ liệu từ hệ thống lên các nền tảng trực tuyến, cho phép người dùng giám sát hệ thống từ xa thông qua các ứng dụng di động hoặc máy tính.

### 2.2.4. Phương pháp hiệu chỉnh cảm biến và tính toán

Để đảm bảo độ chính xác của dữ liệu đo, các cảm biến chính được hiệu chỉnh thực nghiệm trước khi đưa vào khảo nghiệm. Các thuật toán lọc nhiễu số cũng được áp dụng để giảm tác động của nhiễu môi trường và nhiễu analog. Bức xạ mặt trời:

- **Bức xạ mặt trời:** được xác định gián tiếp thông qua việc đo dòng ngắn mạch ( $I_{sc}$ ) của tấm pin bằng cảm biến INA219. Hệ số chuyển đổi được xác định thực nghiệm bằng cách so sánh với thiết bị đo bức xạ chuẩn (Solar Power Meter).

- **Điện áp DC:** Điện áp được đo thông qua cảm biến cách ly ES-K12 (output 0–5 V) nối vào chân A0. Giá trị được lọc bằng cách lấy trung bình 2000 mẫu

- **Dòng điện:** Cảm biến WCS1500 được hiệu chỉnh theo công thức tuyến tính sau:

$$I(A) = \frac{V_{\text{sensor}} - V_{\text{zero}}}{0.011}$$

Trong đó 0,011 là hệ số góc theo thông số nhà sản xuất. Để tăng độ ổn định, hệ thống áp dụng lọc min-max (1001 mẫu).

- **Nhiệt độ và độ ẩm không khí:** Cảm biến SHT30 được hiệu chỉnh theo hệ số góc và offset thực nghiệm: Nhiệt độ: hệ số góc = 1,0, offset = +0,3°C; Độ ẩm: hệ số góc = 1,0, offset = -2,6% RH.

- **Công suất và hiệu suất:** Công suất và hiệu suất của hệ thống được tính theo các

công thức sau:  $P(W) = U \times I$ ;  $\eta(\%) = \frac{P}{\text{Radiation} \times A} \times 100$

Trong đó A = 15,5 m<sup>2</sup> là diện tích dàn pin khảo nghiệm.

- **Nhiệt độ tấm pin:** Cảm biến DS18B20 được sử dụng để đo nhiệt độ mặt trên và mặt dưới của tấm pin. Cảm biến được dán bằng băng keo bạc tại vị trí đại diện.

- **Tốc độ gió:** Cảm biến anemometer 3 cánh được kết nối với ngắt ngoại vi trên chân số 3.

- **Bụi mịn (PM1,0; PM2,5; PM10):** Cảm biến PMS5003 giao tiếp qua UART. Dữ liệu được đọc theo khung 32 byte, hệ thống áp dụng đếm ngược 12 giây và lưu lại giá trị cuối cùng khi không nhận được dữ liệu mới.

**Bảng 1. Các thiết bị chuẩn để hiệu chỉnh**

STT	Thiết bị chuẩn hiệu chỉnh	Thông số chính của thiết bị
1	Solar Power Meter TM-208	Dải đo: 0 – 2000 W/m <sup>2</sup> , Độ chính xác ±5%
2	Digital Multimeter UNI-T UT89C	Độ chính xác DC Voltage: ±0.05% + 2 digits
3	Clamp Meter AC/DC Fluke 376	Độ chính xác dòng DC: ±2% + 5 digits
4	Infrared Thermometer GM320 + HT-3006A	Độ chính xác: ±1.5°C ±0.5°C
5	Humidity/Temp Meter HT-3006A	Nhiệt độ ±0.5°C, Độ ẩm ±3% RH
6	Thiết bị đo bụi chuẩn (Dust Meter chuyên dụng)	Độ chính xác ±5-8%
7	Thiết bị đo gió chuẩn (Anemometer Calibration Tool)	Độ chính xác ±2-3%

### 2.2.5. Phương pháp khảo nghiệm

Bộ thu thập dữ liệu được lắp đặt và khảo nghiệm tại các hệ thống điện mặt trời áp mái quy mô nông hộ. Quá trình khảo nghiệm kéo dài 3 tháng để ghi nhận các thông số về bức xạ mặt trời, nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ bụi, điện áp, dòng điện và công suất.

Dữ liệu thu thập trong quá trình khảo nghiệm được so sánh với dữ liệu của thiết bị đo chuẩn (Bảng 1). Điều này giúp đánh giá độ chính xác của bộ thu thập dữ liệu và kiểm tra khả năng hoạt động của hệ thống trong các điều kiện môi trường khác nhau.

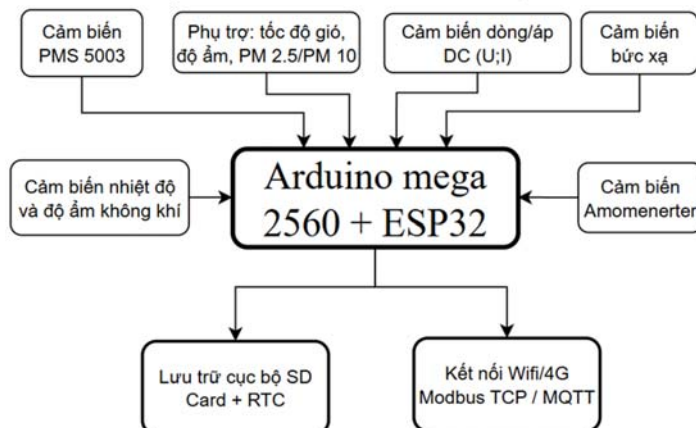
### 2.2.6. Phương pháp phân tích dữ liệu

Sau khi thu thập dữ liệu, các thông số sẽ được phân tích để đánh giá hiệu quả hoạt động của hệ thống điện mặt trời. Các phương pháp phân tích dữ liệu bao gồm tính toán hiệu suất chuyển đổi năng lượng, đánh giá tác động của các yếu tố môi trường đến hiệu suất hệ thống, và so sánh giữa kết quả đo của bộ thu thập dữ liệu và các thiết bị đo chuẩn.

Ngoài ra, dữ liệu còn được phân tích để đưa ra các khuyến nghị về bảo trì và sửa chữa, giúp tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống và giảm thiểu chi phí vận hành.

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

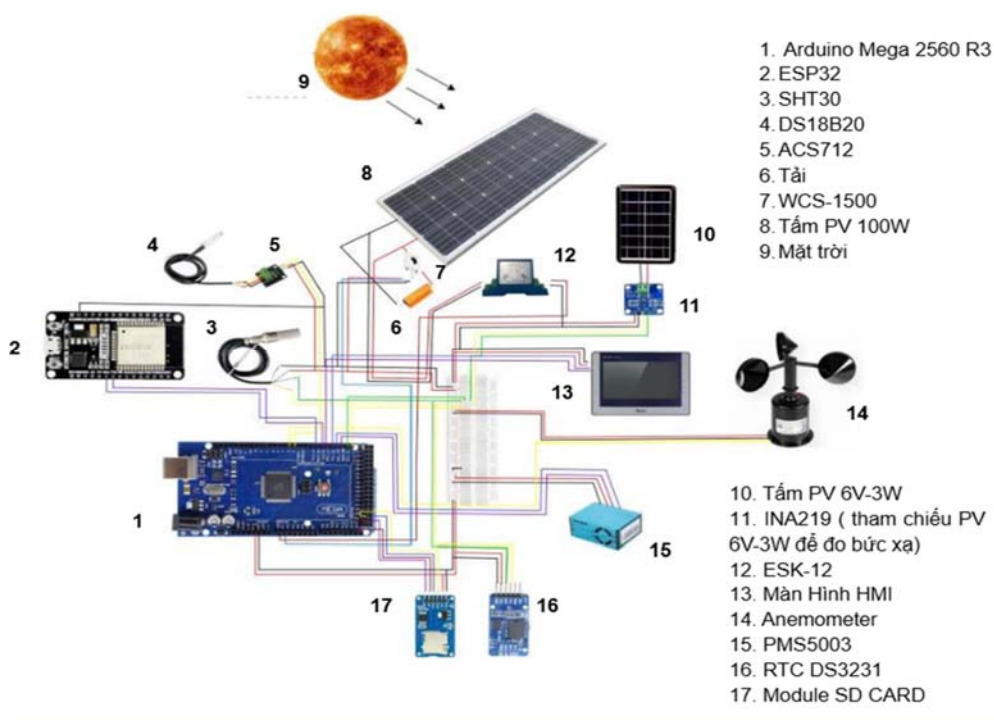
#### 3.1. Kết quả thiết kế sơ đồ khối



**Hình 1.** Sơ đồ khối bộ thu dữ liệu hoạt động của hệ thống điện mặt trời

Arduino Mega 2560: Làm trung tâm thu thập dữ liệu, với nhiều chân I/O (I2C, UART, SPI, Analog) để kết nối cảm biến. Dễ lập trình, hỗ trợ thư viện phong phú, phù hợp giai đoạn thử nghiệm ban đầu.

ESP32: Xử lý kết nối mạng (WiFi, MQTT, ThingSpeak). Tích hợp WiFi/Bluetooth, hỗ trợ OTA, tiết kiệm năng lượng, và khả năng xử lý dữ liệu thời gian thực.



**Hình 2.** Sơ đồ kết nối hệ thống

- Sơ đồ minh họa kiến trúc hoàn chỉnh của bộ thu thập dữ liệu cho hệ thống điện mặt trời áp mái. Trung tâm là Arduino Mega 2560 R3 (1), kết nối với ESP32 (2) để truyền dữ liệu qua MQTT. Hệ thống tích hợp đầy đủ các cảm biến:

- + INA219 (11) đo bức xạ (qua tấm pin mặt trời PV 6V/3W tham chiếu hệ bức xạ dựa trên dòng điện Isc và hệ số góc).
- + ESK-12 (12) đo điện áp DC cách ly.
- + WCS-1500 (7) đo dòng điện.
- + DS18B20 (4) đo nhiệt độ tấm pin.

+ SHT30 (3) đo nhiệt độ & độ ẩm không khí.  
 + PMS5003 (15) đo bụi mịn.  
 + Anemometer (14) đo tốc độ gió.  
 + Ngoài ra còn có RTC DS3231 (16), SD Card (17) lưu dữ liệu và màn hình HMI (13) hiển thị thời gian thực. Đánh giá: Sơ đồ thiết kế logic, sử dụng đa dạng giao tiếp (I2C, UART, Analog, Interrupt), đảm bảo tích hợp tốt các thông số quan trọng và dễ mở rộng.

### 3.2. Kết quả chế tạo bộ thu dữ liệu

Cảm biến INA219 được sử dụng để đo đồng thời dòng điện và điện áp của tấm pin quang điện 6V/3W, từ đó gián tiếp xác định

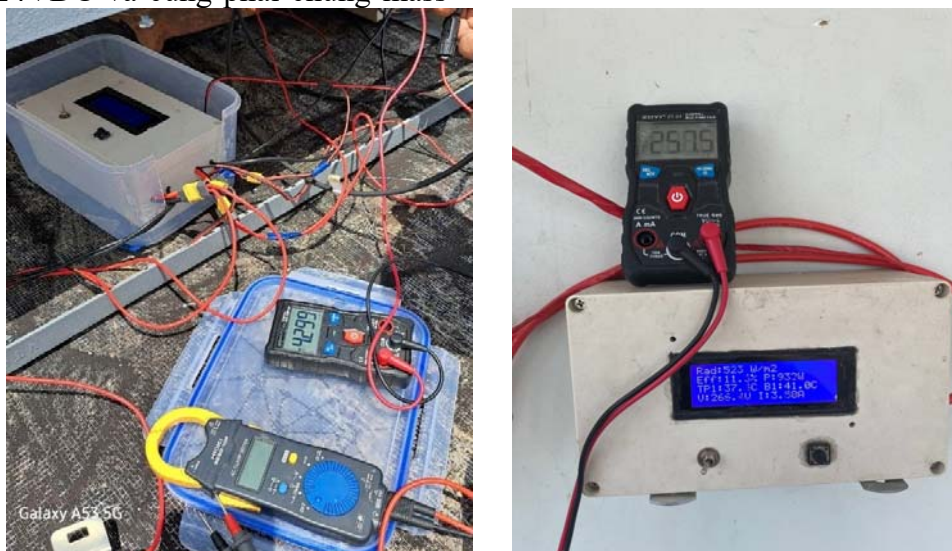
dòng ngắn mạch ( $I_{sc}$ ) phục vụ tính toán bức xạ mặt trời. Thiết bị được tích hợp trong hệ thống thông qua giao tiếp I2C, với chân SDA và SCL kết nối tương ứng đến chân 20 và 21 của Arduino Mega 2560. Nguồn cấp VCC (5V) và GND được lấy từ vi điều khiển, đảm bảo chung mass với toàn bộ hệ thống nhằm hạn chế sai số do chênh lệch điện thế. Dữ liệu đo được từ INA219 sau đó được xử lý và quy đổi thông qua hệ số hiệu chuẩn đã xác định thực nghiệm để đảm bảo độ chính xác của giá trị bức xạ.



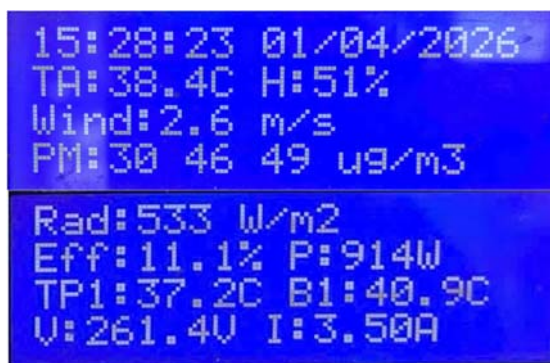
**Hình 3.** Hiệu chỉnh thông số bức xạ mặt trời

ES-K12 đo điện áp DC và chuyển đổi sang tín hiệu 0–5V. Chân PWR– nối GND chung với Arduino Mega 2560, PWR+ cấp nguồn ngoài 12–24VDC và cũng phải chung mass

với hệ thống. Tín hiệu VO (0–5V) đưa vào chân analog để xử lý, còn V+ và V– nối trực tiếp vào hai cực điện áp cần đo.



**Hình 4.** Hiệu chỉnh điện áp và dòng điện của bộ thu



**Hình 5.** Bộ thu dữ liệu và các thông số hiển thị trên bộ thu

Bộ thu dữ liệu sau khi được chế tạo hoàn chỉnh và kết quả hiệu chỉnh được trình bày trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Kết quả hiệu chỉnh sai số các cảm biến

SST	Cảm biến	Model	Thông số đo lường chính	Độ chính xác theo hãng	Hệ số góc/Offset	Sai số sau hiệu chỉnh
1	Bức xạ mặt trời (gián tiếp)	PV + INA219	Dòng ngắn mạch $I_{sc}$ → Bức xạ	$\pm 0.8\%$	Hệ số góc = 1.81	$\pm 4,5\%$
2	Điện áp DC cách ly	ES-K12	Điện áp DC 0 – 1500 V	$\pm 0.5\%$ FS	Hệ số góc = 300 × 1.05 Hệ số góc = 0.011 V/A	$\pm 2,8\%$
3	Dòng điện DC	WCS1500	Dòng DC 0 – 200 A	$\pm 1\%$ FS	Deadband = 0.18 A	$\pm 3,1\%$
4	Nhiệt độ tấm pin	DS18B20	Nhiệt độ - 55 ~ +125°C	$\pm 0.5^\circ\text{C}$	Hệ số góc = 1.0	$\pm 0,6^\circ\text{C}$
5	Nhiệt độ & Độ ẩm không khí	SHT30	Nhiệt độ - 40 ~ +125°C Độ ẩm 0-100% RH	$\pm 0.3^\circ\text{C}$ / $\pm 2\%$ RH	Nhiệt độ: +0.3°C Độ ẩm: -2.6%	$\pm 0,6^\circ\text{C}$ / $\pm 3\%$
6	Bụi mịn	PMS5003	PM1.0, PM2.5, PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	$\pm 10\%$	Hệ số góc = 1.0	$\pm 8\%$
7	Tốc độ gió	Anemometer	Tốc độ gió 0 – 30 m/s	$\pm 5\%$	Hệ số góc = 8.75	$\pm 5\%$

### 3.3. Kết quả khảo nghiệm

Sau khi bộ thu được thiết kế và chế tạo hoàn thiện sẽ được kiểm tra hoạt động tại phòng thí nghiệm. Các số liệu đo đạc sẽ được đối chiếu và hiệu chỉnh phù hợp với thiết bị đo chuẩn (Bảng 1) trước khi tiến hành lắp đặt

bộ thu dữ liệu vào hệ thống điện NLMT để khảo nghiệm thực tế. Quá trình lắp đặt bộ thu phải đảm bảo: cảm biến bức xạ ngang tấm PV, gắn cảm biến nhiệt độ mặt sau mô-đun bằng keo dẫn nhiệt, đặt cảm biến đo tốc độ gió ở vị trí thoáng gió.



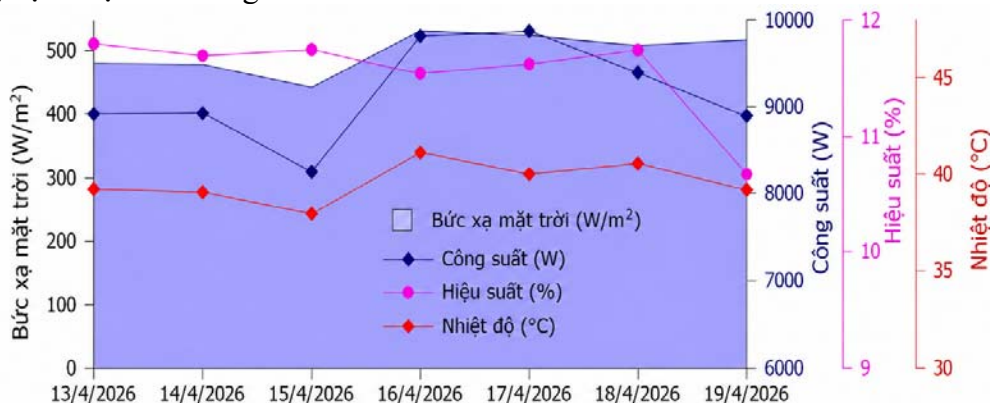
Hình 6. Khảo nghiệm bộ thu với hệ thống 3 kWp

Kết quả khảo nghiệm như sau:

+ Bức xạ: Sai số trung bình  $\pm 4,5\%$  tương đương với mức sai số cho phép của lớp chuẩn B theo tiêu chuẩn ISO 9060:2018). Sai số này được xác định trong phạm vi thử nghiệm và khảo nghiệm thực tế của nghiên cứu.

+ Nhiệt độ môi trường: Sai số  $\pm 0,6^\circ\text{C}$   $\rightarrow$  đáp ứng yêu cầu giám sát.

+ Điện áp – dòng điện: Sai số  $\pm 2,8\%$  so với thiết bị đo chuẩn, phù hợp với mục tiêu nghiên cứu.



Hình 7. Biểu đồ sự biến thiên trung bình trong 7 ngày của bức xạ mặt trời, công suất phát điện, nhiệt độ môi trường và hiệu suất hệ thống điện mặt trời 3 kWp

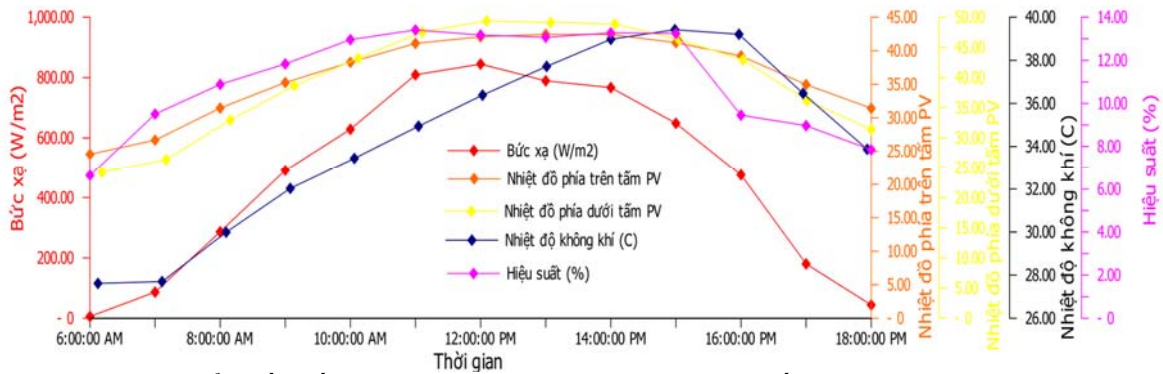
**Nhận xét:** Bức xạ là biến đầu vào chính và có xu hướng dao động trong khoảng  $\sim 450\text{--}520 \text{ W}/\text{m}^2$ . Đây là yếu tố chi phối trực tiếp đến công suất phát của hệ PV. Ta thấy khi bức xạ tăng (đặc biệt ngày 16–17/4), công suất tăng tương ứng và đạt đỉnh quanh ( $\sim 9,8\text{--}10 \text{ kW}$ ). Điều này phản ánh mối quan hệ tuyến tính giữa bức xạ và công suất trong điều kiện vận hành thực tế.

Tuy nhiên, hệ không hoàn toàn tuyến tính tuyệt đối vì có sự tham gia của yếu tố nhiệt độ. Nhiệt độ dao động khoảng  $38\text{--}42^\circ\text{C}$  và có xu hướng tăng vào các ngày có bức xạ cao. Điều quan trọng là khi nhiệt độ tăng, công suất không tăng tương ứng mà có dấu hiệu chững hoặc giảm nhẹ. Đây là biểu hiện điển hình của pin quang điện silicon: nhiệt độ tăng

làm giảm điện áp hở mạch (Voc), kéo theo giảm hiệu suất chuyển đổi.

Về hiệu suất, dao động trong khoảng  $\sim 10\text{--}12\%$  và không hoàn toàn đồng pha với bức xạ. Có thể thấy hiệu suất giảm nhẹ ở những ngày nhiệt độ cao, mặc dù bức xạ vẫn ở mức tốt. Điều này chứng minh rằng hiệu suất hệ không chỉ phụ thuộc vào năng lượng đầu vào mà còn bị chi phối mạnh bởi điều kiện nhiệt môi trường và nhiệt độ tấm pin.

Tóm lại, dữ liệu có tính nhất quán cao, không xuất hiện nhiễu bất thường lớn, chứng tỏ hệ đo ổn định. Đồng thời biểu đồ cũng xác nhận rõ vai trò của nhiệt độ như một yếu tố giới hạn hiệu suất, không thể bỏ qua khi đánh giá vận hành hệ thống điện mặt trời thực tế.



**Hình 8.** Biểu đồ biến thiên bức xạ, nhiệt độ và hiệu suất (trung bình tháng 3/2026)

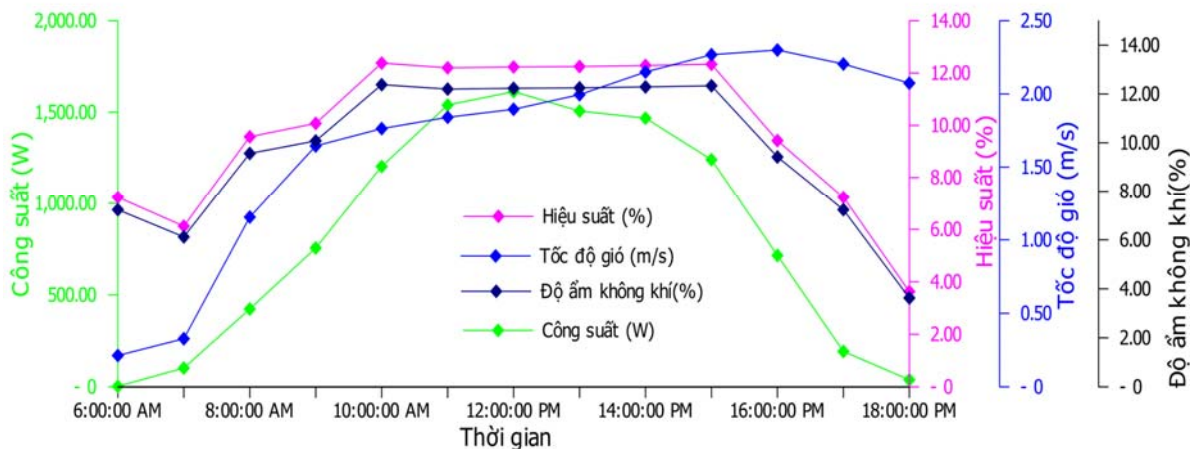
Dữ liệu thực nghiệm cho thấy các đại lượng bức xạ mặt trời, công suất phát và hiệu suất hệ thống tuân theo quy luật biến thiên phi tuyến theo chu kỳ bức xạ ngày. Bức xạ tăng từ mức thấp buổi sáng ( $<100 \text{ W/m}^2$  lúc 6h00) lên giá trị cực đại trong khoảng  $700\text{--}800 \text{ W/m}^2$  tại 11h00–13h00, sau đó giảm dần về chiều (Hình 8).

Nhiệt độ tấm pin (mặt trên và mặt dưới) tăng theo bức xạ, nhưng khi nhiệt độ mặt trên tấm pin vượt ngưỡng  $\sim 40^\circ\text{C}$ , hiệu suất hệ thống không còn tăng theo bức xạ mà có xu hướng giảm nhẹ từ  $\sim 12\%$  xuống khoảng  $\sim 11,5\%$ . Hiện tượng này phù hợp với đặc tính vật lý của tế bào quang điện silicon, trong đó điện áp hở mạch (Voc) giảm theo nhiệt độ, dẫn đến suy giảm hiệu suất chuyển đổi năng lượng.

Tương ứng, công suất hệ thống tăng từ 0 W lên cực đại  $1450\text{--}1500 \text{ W}$ , trong khi hiệu suất đạt giá trị lớn nhất khoảng 12% trong cùng khung thời gian (Hình 9). Điều này khẳng định mối quan hệ phụ thuộc trực tiếp giữa bức xạ và công suất phát của hệ PV.

Độ ẩm không khí dao động trong khoảng 45–77%, có xu hướng giảm dần từ sáng đến trưa. Khi độ ẩm cao (giai đoạn 6h–8h), công suất tăng chậm do suy giảm bức xạ hữu hiệu thông qua tán xạ khí quyển. Khi độ ẩm giảm về mức  $\sim 45\text{--}55\%$  (11h00–14h00), điều kiện quang học cải thiện, tương ứng với giai đoạn công suất đạt cực đại.

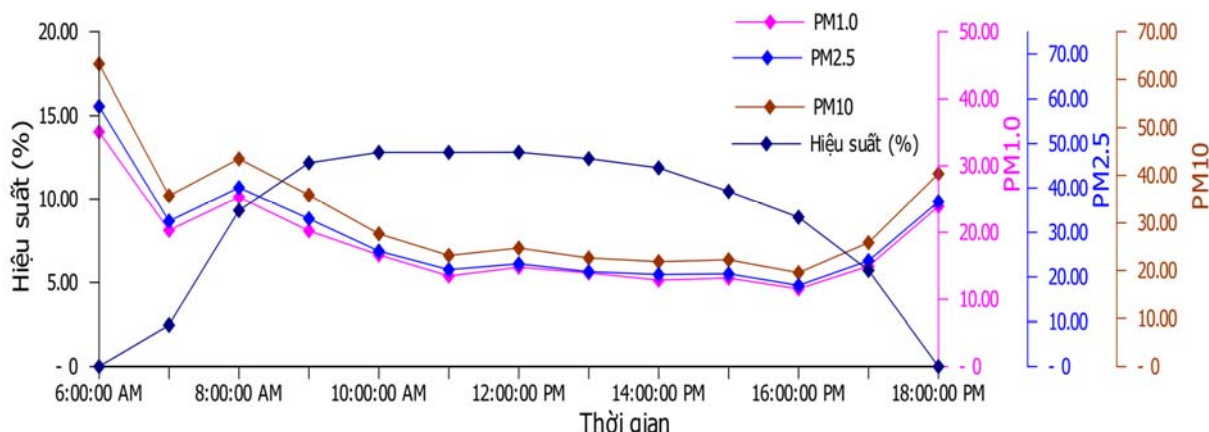
Tốc độ gió dao động từ 1,2–2,25 m/s, có vai trò điều hòa nhiệt độ tấm pin. Sự gia tăng tốc độ gió vào giai đoạn chiều giúp giảm tích nhiệt, từ đó hạn chế suy giảm hiệu suất do quá nhiệt (Hình 9).



**Hình 9.** Biểu đồ mối quan hệ giữa công suất phát, hiệu suất, tốc độ gió và độ ẩm (trung bình tháng 3/2026)

Các thông số PM1.0; PM2.5 và PM10 biến thiên theo hoạt động giao thông và điều kiện khí tượng (Hình 10): PM1.0: ~20 → 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; PM2.5: ~23 → 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ; PM10: ~33 → 49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Nồng độ bụi đạt cực đại vào 7h–8h, sau đó giảm và ổn định hơn trong khoảng trưa. Mặc dù bụi mịn có khả năng gây suy

giảm bức xạ thông qua tán xạ và hấp thụ quang học, tuy nhiên trong dữ liệu thực nghiệm, ảnh hưởng này thể hiện ở mức gián tiếp và không phải là yếu tố chi phối chính đến hiệu suất hệ PV.



Hình 10. Biểu đồ mối quan hệ giữa hiệu suất hệ thống và nồng độ bụi PM1.0, PM2.5, PM10 (trung bình tháng 3/2026)

Tóm lại, dữ liệu cho thấy hệ thống PV chịu tác động đồng thời của nhiều yếu tố môi trường: Bức xạ tăng thì công suất tăng (quan hệ tuyến tính); nhiệt độ tăng thì hiệu suất giảm (giới hạn vật lý của tế bào quang điện);

gió tăng thì nhiệt độ giảm thì hiệu suất tăng (tác động gián tiếp tích cực); độ ẩm tăng thì bức xạ hữu hiệu giảm thì công suất giảm; bụi mịn tăng thì tán xạ tăng thì suy giảm bức xạ hữu hiệu.

#### 4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu và chế tạo bộ thu thập dữ liệu đã chứng minh hiệu quả trong việc giám sát hiệu suất của hệ thống điện mặt trời, đặc biệt ở quy mô hộ gia đình và doanh nghiệp nhỏ. Hệ thống cho phép theo dõi liên tục các thông số môi trường như bức xạ mặt trời, nhiệt độ, độ ẩm và nồng độ bụi, từ đó hỗ trợ đánh giá và tối ưu hóa hiệu suất vận hành của tấm pin cũng như nâng cao khả năng quản lý và bảo trì hệ thống.

Hướng nghiên cứu tiếp theo tập trung vào việc mở rộng khả năng của bộ thu thập dữ liệu để ứng dụng cho các hệ thống điện mặt trời quy mô lớn, đồng thời tích hợp với lưới điện thông minh nhằm nâng cao hiệu quả vận hành. Bên cạnh đó, việc triển khai lưu trữ dữ liệu trên nền tảng đám mây và ứng dụng giao tiếp không dây được xem là các hướng phát triển tiềm năng giúp tăng tính linh hoạt, khả năng mở rộng và hiệu quả khai thác dữ liệu.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. International Energy Agency, *Renewables 2024 – Executive Summary*. Paris, France: IEA, 2024.

2. R. Chidembo, J. Francis, and S. Kativhu, "Rural Households' Perceptions of the Adoption of Rooftop Solar Photovoltaics in Vhembe District,

*South Africa*,” *Energies*, vol. 15, no. 17, p. 6157, 2022.

3. T. N. Do, P. J. Burke, K. G. H. Baldwin, and C. T. Nguyen, “*Underlying drivers and barriers for solar photovoltaics diffusion: The case of Vietnam*,” *Energy Policy*, vol. 144, p. 111561, 2020.

4. D. C. Jordan and S. R. Kurtz, “*Photovoltaic Degradation Rates—An Analytical Review*,” 2012.

5. R. J. Mustafa, M. R. Gomaa, M. Al-Dhaifallah, and H. Rezk, “*Environmental Impacts on the Performance of Solar Photovoltaic Systems*,” *Sustainability*, vol. 12, no. 2, p. 608, 2020.

6. V. Gupta, M. Sharma, R. K. Pachauri, and K. N. Dinesh Babu, “*Comprehensive review on effect of dust on solar photovoltaic system and mitigation techniques*,” *Solar Energy*, vol. 191, pp. 596–622, 2019.

7. National Renewable Energy Laboratory, Sandia National Laboratory, SunSpec Alliance, and the SunShot National Laboratory Multiyear Partnership (SuNLaMP) PV O&M Best Practices Working Group, *Best Practices for Operation and Maintenance of Photovoltaic and Energy Storage Systems; 3rd Edition*. Golden, CO, USA: NREL, 2018.

8. A. Hamied, A. Mellit, M. Benghanem, and S. Boubaker, “*IoT-Based Low-Cost Photovoltaic Monitoring for a Greenhouse Farm in an Arid Region*,” *Energies*, vol. 16, no. 9, p. 3860, 2023.

9. N. Rouibah, A. El Hammoumi, A. Bouttout, S. Haddad, S. Oukaci, A. Limam, and M. Benghanem, “*Smart monitoring of photovoltaic energy systems: An IoT-based prototype approach*,” *Scientific African*, vol. 30, p. e02973, 2025.

- Ngày gửi bài: 16/05/2026
- Ngày phản biện: 03/06/2026
- Ngày duyệt đăng: 08/06/2026

## THE INFLUENCE OF SEVERAL TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE EXTRACTION EFFICIENCY OF ALKALOIDS AND MAACKIAIN FROM *MILLETTIA SPECIOSA* CHAMP. TUBERS

Do Tat Thuy<sup>1</sup>, Nguyen Tat Thang<sup>1</sup>, Le Thu Hang, Bui Thanh Toan<sup>1</sup>  
Chu Le Trang<sup>2</sup>, Nguyen Thi Thuan<sup>2</sup>, Vu Thi Huong<sup>2</sup>

### ABSTRACT

This study was conducted to evaluate the influence of several technological factors on the extraction process of alkaloid bioactive compounds and maackiain from *Millettia speciosa* Champ. (*M. speciosa*) rhizomes, including the influence of: extraction solvent (distilled water, 70% ethanol, 70% methanol; 99% ethyl acetate); extraction solvent concentrations (ethanol solvent at concentrations of 65, 70, 75, 80, 85, 90%); ratio of raw material/extraction solvent (1/10, 1/15, 1/20, 1/25, 1/30); extraction temperatures (30, 35, 40, 45, 50°C); extraction time (30, 40, 50, 60, 70 minutes); Number of extractions (1 time, 2 times, 3 times). Ingredients: *M. speciosa* Champ., grown and cared for according to GACP-WHO standards (in Tam Dao commune, Phu Tho province). Harvest the *M. speciosa* roots in the winter season (November 2025) after 2 years of planting. The raw material contains 1,12% alkaloids and 2,5 mg of maackiain/100g dry matter.

The results show that the extraction technology for *M. speciosa* extract includes the following parameters: Ethanol solvent, ethanol concentration 80%; material/solvent ratio 1/20; extraction temperature 40°C; extraction time: 60 minutes; extraction performed twice (first extraction: 40 minutes, second extraction: 20 minutes); ultrasonic extraction (500W power, 20 kHz ultrasonic frequency) yields the highest extraction results, in which case: The alkaloid content reached 1,01% and maackiain reached 2,25 mg/100g dry matter; The extraction efficiency reached 90,1%. After harvesting, cleaning, and concentrating the extract, the resulting *M. speciosa* extract yielded an alkaloid content of 4,04% dry matter and maackiain of 9,0 mg/100g dry matter.

The product, made from *M. speciosa* extract, has a moisture content of 4,52%; The alkaloid content is 4,04% dry matter and maackiain is 9,0 mg/100g dry matter, pale yellow color, characteristic aroma. Microbiological indicators: *E. coli*, *Salmonella*: not detected; Total aerobic bacteria  $1,0 \times 10^2$  Cfu/g; Total number of yeast and mold spores 12 Cfu/25g. The product meets food safety requirements as regulated by the Ministry of Health.

**Keywords:** Alkaloids, Maackiain, *Millettia speciosa*, Southern ginseng, Sam paddles the cat,.

### 1. INTRODUCTION

*Millettia speciosa* Champ. (*M. speciosa* Champ.) belongs to the genus *Millettia*, family Fabaceae. It has other local names such as Southern Ginseng, Cat's Paw Ginseng, Mouse Ginseng, etc. The genus *Millettia* has more than 200 species worldwide; in Vietnam, there are 25 species.

In Vietnam, *M. speciosa* is scattered in many provinces in the lowlands and midlands such as Nghe An, Thanh Hoa, Bac Ninh, Vinh Phuc, Phu Tho, Quang Ninh, Hoa Binh, etc. [3].

In the world, *M. speciosa* is found in many countries in Asia, Africa, Northern Australia, South and Southeast Asia (China, Indonesia, Japan, Thailand, etc.). Besides growing wild,

this plant is now also widely cultivated for medicinal purposes [3].

*M. speciosa* is a precious medicinal plant. According to domestic and foreign studies, *M. speciosa* root has the following effects: reducing cough and fever [3]; protecting the liver, treating anemia [11]; reducing bone and joint pain [3, 11]. *M. speciosa* contains many active substances such as alkaloids, terpenoids, phenolics, and saccharides that have the effect of protecting the liver, preventing cough, fighting asthma, and strengthening immunity [7, 8]. In addition, some substances in *M. speciosa* also show anti-inflammatory, antioxidant, anti-thrombotic, anti-tumor activity [9, 10]; nourishing and strengthening health [12]. Especially, *M. speciosa* root has the effect of

<sup>1</sup> Institute of Agricultural Engineering and Post-Harvest Technology

<sup>2</sup> Hanoi University of Pharmacy

combating fatigue and is a potential raw material for the production of health-protecting foods [12].

Currently, the application of scientific and technological advancements in the cultivation of *M. speciosa* by farmers, as well as the number of processing and trading facilities for *M. speciosa*, are limited, and production remains small-scale and fragmented. Farmers cultivating *M. speciosa* have not yet focused on organizing production and improving efficiency through local farmers' associations and representative organizations. The lack of linkages with businesses supplying inputs and consuming the product leads to high costs and low selling prices. Farmers also face many obstacles in *M. speciosa* production due to the high cost of seeds and supplies.

Products processed from *M. speciosa* are still limited in variety, lacking high quality and failing to meet food safety standards. Most *M. speciosa* products are produced manually on a small scale, resulting in products that lack commercial appeal, do not

## 2. MATERIALS AND METHODS OF RESEARCH

### 2.1. Research materials

*Millettia speciosa* Champ. (*M. speciosa* Champ.) is grown and cared for according to GACP-WHO standards in Tam Dao commune, Phu Tho province. The *M. speciosa* tubers are harvested in the winter season (November, 2025).

Harvest the *M. speciosa* roots two years after planting, in the early morning (7-9 am) or late evening (4-6:30 pm); harvest when the weather is cool, dry, and without rain.

After harvesting, the *M. speciosa* roots undergo preliminary processing and selection (removing roots that are diseased, damaged, or rotten). The *M. speciosa* roots are washed thoroughly with clean water to remove all soil, sand, and dirt. They are then soaked in an anolyte solution for 5 minutes, drained, and the roots are trimmed.

guarantee food safety, are difficult to preserve, and have a short shelf life. Overall, the added value of these products remains low.

The aim of this study is to determine the extraction method (extraction solvent, material/extraction solvent ratio, extraction temperature, extraction time, number of extractions), the technology for obtaining the extract of *M. speciosa* (recovery, purification, concentration of the extract, extraction of the extract) and the quality of the *M. speciosa* extract. The quality of the extracted *M. speciosa* extract with the parameters selected from the results of this study will also be evaluated through physicochemical indicators (moisture content, alkaloid content, maackiain), sensory (color, odor) and microbiological indicators. The success of this research will contribute to improving the livelihoods of local *M. speciosa* growers as well as businesses processing products from *M. speciosa*.

The *M. speciosa* root is dried to a moisture content of  $\leq 10\%$ . Dried *M. speciosa* roots are stored in vacuum-sealed PE bags and kept at a cool temperature ( $25 \pm 2^\circ\text{C}$ ).

*M. speciosa* roots should be stored in a dry, cool place, away from direct sunlight.

### 2.2. Research Materials

- Chemicals: Ethanol ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ); Ethyl acetate ( $\text{C}_4\text{H}_8\text{O}_2$ ), Acetonitrile ( $\text{CH}_3\text{CN}$ ), Chloroform, Sodium hydroxide, Potassium chloride, Potassium phosphate monobasic, HCl, n-butanol,  $\text{NH}_3\text{Cl}$ ,  $\text{MgSO}_4$ , Magnesium sulfate, Maackain standard, TLC thin-layer chromatography plates, Silica gel 60 F<sub>254</sub> 25, Plastic sheets (20 x 20 cm), chromatographic packing material silica gel 60 (40-63  $\mu\text{m}$ ), reversed-phase silica gel LiChroprep® RP-18 (40-63 $\mu\text{m}$ ) 500 mg 3 ml, and other analytical chemicals.

- Equipment and instruments: Material grinder (Vietnam). Vacuum drying oven

(Memmert, Germany). Vacuum rotary evaporator (Buechi R-210). Sonic vibra cell ultrasonic device (USA, ultrasonic frequency 20KHz, power 500W, extraction capacity 200-5000ml).

High-performance liquid chromatography (HPLC) system (Shimadzu, Kyoto, Japan). UV 254 nm - 366 nm device (Camag, Switzerland). Thin-layer chromatography chamber (Chromatography tank, Switzerland). Water bath (Memmert, Germany). Plastic pipettes, rubber bulb for chemical aspiration, scissors, gloves, masks and protective clothing,...

### 2.3. Research Methods

#### 2.3.1. Extraction process of *M. speciosa*

*M. speciosa* extract is obtained through a specific process:

Raw material selection → Pre-processing, drying, and grinding of raw materials → Extraction of *M. speciosa* extract → Recovery of the extract → Purification of the extract → Concentration of the extract to obtain *M. speciosa* extract → *M. speciosa* extract → Preservation of *M. speciosa* extract.

Fresh *M. speciosa* roots are cleaned of impurities (processed mechanically and washed), then sliced. The roots are dried by sun drying or oven drying (moisture content <10%). The roots are then ground into a fine powder (then sieved through a sieve with a mesh size of 2 mm), resulting in a powder size of 1-2 mm. Quality of dried *M. speciosa* rhizome: alkaloid 1,12% CK; maackiain 2,5 mg/100g CK. The finely ground *M. speciosa* rhizome was subjected to extraction: solvent 80% ethanol; material/solvent ratio 1/20; extraction temperature 40°C; extraction time 60 minutes; extraction twice (first extraction 40 minutes, second extraction 20 minutes), obtaining *M. speciosa* extract (recovery: coarse filtration with filter cloth to remove some impurities; cleaning: using an RO water purifier; concentration of the extract: using a vacuum concentrator, to a dry matter

concentration > 40%; obtaining *M. speciosa* extract: the extract was stored at a cool temperature (20±2°C) or dried to obtain *M. speciosa* extract). *M. speciosa* extract is packaged in glass jars or vacuum-packed in tin containers, store in a dry place, away from direct sunlight.

Within the scope of this paper, we will only discuss the study of the influence of certain technological factors in some key stages such as extraction and harvesting on the quality of high-quality *M. speciosa* extract.

#### 2.3.2. Experimental Method

Fresh *M. speciosa* tubers were sliced and dried (moisture content <10%). The dried *M. speciosa* tubers were ground into a fine powder (sieved through a sieve with a mesh size of 2 mm, resulting in a powder size of 1-2 mm), stored at a cool, dry, and well-ventilated place for the experiment.

a) *The effect of solvent type on the extraction efficiency of M. speciosa*

The experiment was designed with 4 treatments: distilled water, 70% ethanol, 70% methanol, and 99% ethyl acetate.

Monitored parameters: alkaloid content, maackiain, and extraction efficiency.

b) *The effect of solvent concentration on the extraction efficiency of M. speciosa*

The experiment was designed with 6 treatments: using ethanol as the solvent at concentrations of 65, 70, 75, 80, 85 and 90%.

Monitoring parameters: Alkaloid content, maackiain, and extraction efficiency.

c) *The effect of the material/solvent ratio on the extraction efficiency of M. speciosa*

Experimental design included 5 treatments: with material/solvent ratios of 1/10, 1/15, 1/20, 1/25, 1/30.

Monitoring parameters: Alkaloid content, maackiain, and extraction efficiency.

d) *The effect of extraction temperature on the extraction efficiency of M. speciosa*

Experimental design included 5 treatments: at extraction temperatures of 30, 35, 40, 45, and 50°C.

Monitoring parameters: Alkaloid content, maackiain, and extraction efficiency.

*d) The effect of extraction time on the high extraction efficiency of M. speciosa*

Experimental design included 6 treatments: at extraction times of 30, 40, 50, 60, and 70 minutes.

Monitoring parameters: Alkaloid content, maackiain, and extraction efficiency.

*e) The effect of the number of extractions on the extraction efficiency of M. speciosa*

The experimental design consisted of 3 formulas, with the number of extraction cycles being: 1, 2, and 3 (cycle 1: 40 minutes, cycle 2: 20 minutes, cycle 3: 10 minutes).

Monitored parameters: Alkaloid content, maackiain content, and extraction efficiency.

*f) Recover the extracted liquid, concentrate the extracted liquid, and obtain the M. speciosa extract.*

- *Recovery of the extracted solution:* The extract containing the active ingredients alkaloid and maackiain was coarsely filtered using a filter cloth to remove some impurities, and the liquid portion was collected.

- *Clean the extracted solution:* Use an RO water purifier with a capacity of 32 liters/hour, modified for liquid purification. The Kangaroo 32-liter/hour water purifier has 6 different filter cartridges. This device has been modified to suit the purification of the extracted liquid by removing the RO filter and other unnecessary cartridges. Specifically, only 4 column cartridges are used. Filter 1: Made of PP fiber with a 5-micron pore size. Its function is to remove coarse impurities, heavy metals, etc., larger than 5 microns. Filter 2: Made of granular activated carbon. Its function is to adsorb heavy metals, organic substances, detergents, and various toxic chemicals. Filter 3: Made of PP fiber with a 1-micron pore size. Its

function is to remove coarse impurities, heavy metals, etc., larger than 1 micron. Filter core 4: The material is compressed porous activated carbon integrated with silver nanoparticles.

- *Concentrate the extracted liquid to obtain the M. speciosa extract:*

+ Concentration of the extract: using a vacuum concentrator, to a dry matter concentration of > 40%.

+ Extraction of *M. speciosa* extract: After vacuum concentration, the extract is stored at a cool temperature (20±2°C) or dried to obtain *M. speciosa* extract containing bioactive compounds. Evaluation of the quality of *M. speciosa* extract containing bioactive compounds (color, smell, bioactive compound content, physicochemical and microbiological indicators, etc.).

- *M. speciosa extract:* Light yellow color, characteristic aroma. The content of bioactive compounds alkaloid and maackiain is 1,01% dry matter and 2,25 mg/100g dry matter, respectively.

- *How to preserve M. speciosa extract:* in various types of packaging such as glass jars, sealed PE bags, etc. The product should be stored in a dry, cool place, away from sunlight.

2.3.3. *Analytical methods and techniques used*

- Analysis of major saponin components in *M. speciosa* using thin-layer chromatography.

- Analysis of the main saponin components in *M. speciosa* using high-performance liquid chromatography (HPLC).

- Determination of total alkaloid content: according to NIFC.05.M.111 (Gravimetric method [6] and the Vietnamese Pharmacopoeia V (Volume 2, 2018) [16].

- Determination of maackiain content: according to Nguyen Thi Hang *et al.* (2019) [17].

- Extraction efficiency (%):  $H (\%) = (m / M) \times 100$

- TCVN 6846:2007, microorganisms in food and animal feed - Method for detection and quantification of presumptive *Escherichia coli* - Most probable number counting technique [18].

- TCVN 4884-1:2015, microorganisms in the food chain - Methods for quantifying microorganisms - Part 1: Colony counting at 30°C by plate pouring technique [19].

- TCVN 8275-2:2010, microorganisms in food and animal feed - Methods for

### 3. RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1. Quality of *Codonopsis pilosula* raw material

*Millettia speciosa* Champ. (*M. speciosa* Champ.) was grown and cared for according

quantifying yeasts and molds - Part 2: Colony counting technique in products with water activity less than or equal to 0.95 [20].

#### 2.3.4. Statistical Analysis

Experimental results were analyzed using ANOVA and LSD (5%) to compare the mean differences between treatments and the variability between replicates within the same treatment over time. Statistical analyses were performed using SPSS 20 software.

to GACP-WHO standards. *M. speciosa* tubers were harvested in the winter season (November 2025) in Tam Dao commune, Phu Tho province. The quality of the dried *M. speciosa* tubers obtained is shown in table 1.

Table 1. Quality of dried *M. speciosa* root raw material

TT	Target name	Unit of calculation	Result
<b>A</b>	<b>Sensory</b>		
1	Color of the <i>M. speciosa</i> root		Natural ivory white
2	Scent		Natural fragrance
3	Taste		Bland
<b>B</b>	<b>Physicochemical properties</b>		
1	Moisture content	%	7,8
2	Alkaloid	% dry matter	1,12
3	Maackiain	mg/100g dry matter	2,5

The quality of the dried *M. speciosa* root material is as follows: The root's interior color is naturally ivory white, with a natural aroma; moisture content is 7,8%; alkaloid content is 1,12% dry matter; maackiain content is 2,5 mg/100g dry matter.

#### 3.2. Influence of solvent type on the extraction process of *M. speciosa* extract

The efficiency of three types of extraction solvents was compared under the following conditions: water, 70% ethanol, 70% methanol; 99% ethyl acetate. With a material/solvent ratio of 1/15, extraction temperature of 35°C, and extraction time of 40 minutes, the alkaloid and maackiain content were determined. The experimental results are shown in table 2 and chart 1.

Table 2. Effect of solvent type on extraction efficiency high bioactive compound content of *M. speciosa*

Solvent type	Content		Extraction efficiency (%)
	Alkaloid (%dry matter)	Maackiain (mg/100g dry matter)	
Water	0,31 <sup>a</sup> ±0,06	0,67 <sup>a</sup> ±0,04	26,9 <sup>a</sup> ±0,08
Ethanol	0,57 <sup>b</sup> ±0,05	1,26 <sup>b</sup> ±0,06	50,5 <sup>b</sup> ±0,19
Methanol	0,59 <sup>b</sup> ±0,04	1,32 <sup>b</sup> ±0,07	52,9 <sup>c</sup> ±0,78
Ethyl acetate	0,61 <sup>b</sup> ±0,05	1,35 <sup>b</sup> ±0,03	54,1 <sup>d</sup> ±0,41

\*Note: Data in the same column with different capital letters (a, b, c, d) are significantly different at the 5% significance level. Values represent the mean of 3 replicates  $\pm$  standard deviation.

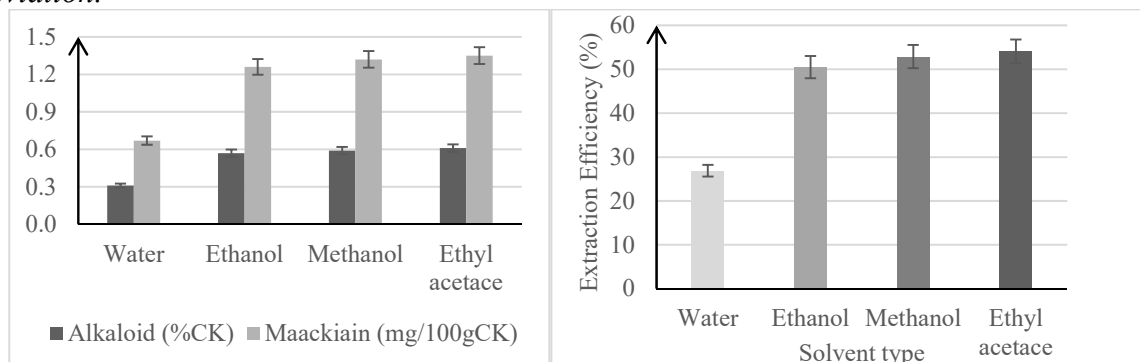


Chart 1. The effect of solvent type on the extraction efficiency of *M. speciosa*

The results in table 2 and chart 1 show that: Different solvents used to extract alkaloids and maackiain from *M. speciosa* rhizomes yield different extraction efficiencies. Water was the solvent with the lowest extraction efficiency of alkaloids and maackiain from *M. speciosa* roots (26,9%). This was followed by ethanol at 50,45% and ethyl acetate at the highest extraction efficiency (54,1%). However, methanol and ethyl acetate are highly toxic organic solvents and are therefore unsuitable for extracting bioactive compounds for use in food processing.

Ethanol provides a much higher extraction efficiency than water. This is because the alkaloids and maackiain in the extract of *M. speciosa* root, although containing many mobile glycoside groups, have large molecular structures, so their polarity is close to that of ethanol, and therefore they dissolve better in ethanol. Thus, ethanol is chosen as the suitable solvent for extracting the active compounds alkaloids and maackiain.

The results of the study are consistent with the research of author Nguyen Tan Thanh and associates (2024) [5] which also selected 80% ethanol solvent to produce total saponin extract powder from the roots of *M. speciosa*, with the saponin content in the extract powder reaching 37,52%. Zhenyu Zhao and associates (2017) when studying the optimization of extracting Flavonoids from associates by ultrasound also used 80% ethanol as the solvent for extraction [13].

### 3.3. The effect of solvent concentration on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract.

The extraction efficiency was compared at 6 solvent concentrations: 65, 70, 75, 80, 85, and 90%. The material/solvent ratio was 1/15, the extraction temperature was 35°C, and the extraction time was 40 minutes. The alkaloid and maackiain content were determined. The research results are presented in table 3 and chart 2.

Table 3. Effect of solvent concentration on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

Solvent concentration (%)	Content		Extraction efficiency (%)
	Alkaloid (% dry matter)	Maackiain (mg/100g dry matter)	
65	0,47 <sup>a</sup> $\pm$ 0,04	1,05 <sup>a</sup> $\pm$ 0,08	42,3 <sup>a</sup> $\pm$ 0,40
70	0,57 <sup>b</sup> $\pm$ 0,02	1,26 <sup>b</sup> $\pm$ 0,07	50,5 <sup>b</sup> $\pm$ 0,57
75	0,63 <sup>bc</sup> $\pm$ 0,04	1,40 <sup>c</sup> $\pm$ 0,06	56,2 <sup>c</sup> $\pm$ 0,82

80	0,75 <sup>d</sup> ±0,04	1,68 <sup>d</sup> ±0,09	67,2 <sup>d</sup> ±0,25
85	0,76 <sup>d</sup> ±0,03	1,70 <sup>d</sup> ±0,04	68,0 <sup>d</sup> ±0,06
90	0,65 <sup>c</sup> ±0,05	1,44 <sup>c</sup> ±0,09	57,7 <sup>e</sup> ±0,63

\*Note: Data in the same column with different capital letters (a, b, c, d) are significantly different at the 5% significance level. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation.

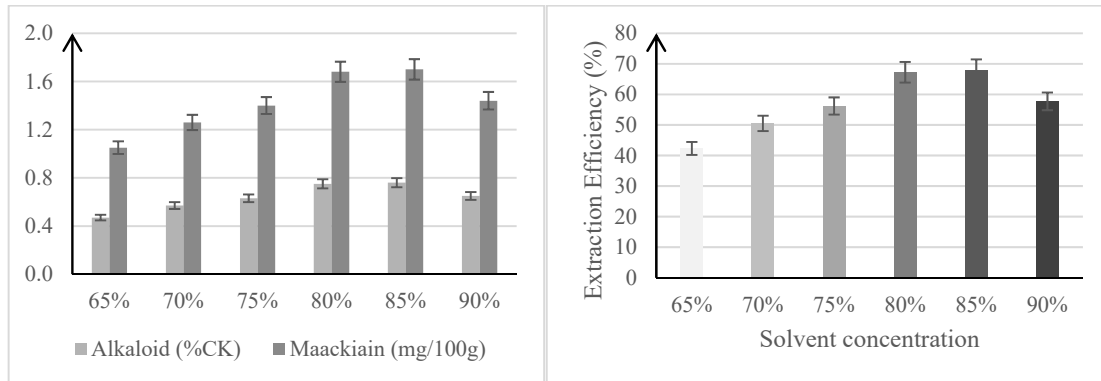


Chart 2. The effect of solvent concentration on the extraction process of *M. speciosa* extract

The results in table 3 and chart 2 show that: At different solvent concentrations, the extraction efficiency of bioactive compounds varies.

The alkaloid content increased from 0,57% dry matter to 0,63% dry matter and maackiain increased from 1,26 mg/100g dry matter to 1,4 mg/100g dry matter when the solvent concentration was 70-75% and stabilized at a solvent concentration of 80-85%; then gradually decreased at a concentration of 90%, with alkaloid at 0,65% dry matter and maackiain at 1,44 mg/100g dry matter. The alkaloid and maackiain content reached their highest levels at an ethanol solvent concentration of 85%, reaching 0,76% dry matter and 1,7 mg/100g dry matter respectively. However, there was no significant difference between ethanol solvent concentrations of 80% and 85%. Therefore, to save solvent and ensure

economic efficiency in the extraction process of ginseng extract, the solvent concentration will be chosen as 80% Ethanol.

The results of the study are similar to the study of Zhenyu Zhao *et al.* (2017) when studying the optimization of extracting flavonoids from *M. speciosa* by ultrasound with 80% ethanol as the solvent, yielding optimal results [13].

### 3.4. The influence of the raw material/solvent ratio on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

The extraction efficiency was compared at 5 material/solvent ratios: 1/10, 1/15, 1/20, 1/25 and 1/30. Solvent: 80% ethanol, extraction temperature: 35°C, extraction time: 40 minutes. The alkaloid and maackiain content were determined. The experimental results are shown in table 4 and chart 3.

Table 4. The effect of the raw material/solvent ratio on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

Raw material ratio/solvent	Content		Extraction efficiency (%)
	Alkaloid (% dry matter)	Maackiain (mg/100g dry matter)	
1/10	0,57 <sup>a</sup> ±0,03	1,27 <sup>a</sup> ±0,07	50,8 <sup>a</sup> ±0,96
1/15	0,75 <sup>b</sup> ±0,02	1,68 <sup>b</sup> ±0,03	67,2 <sup>b</sup> ±1,90

1/20	0,81 <sup>c</sup> ±0,04	1,81 <sup>c</sup> ±0,04	72,5 <sup>c</sup> ±0,92
1/25	0,82 <sup>c</sup> ±0,02	1,82 <sup>c</sup> ±0,02	72,8 <sup>c</sup> ±1,32
1/30	0,81 <sup>c</sup> ±0,01	1,83 <sup>c</sup> ±0,02	73,1 <sup>c</sup> ±1,66

\*Note: Data in the same column with different capital letters (a, b, c, d) are significantly different at the 5% significance level. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation.

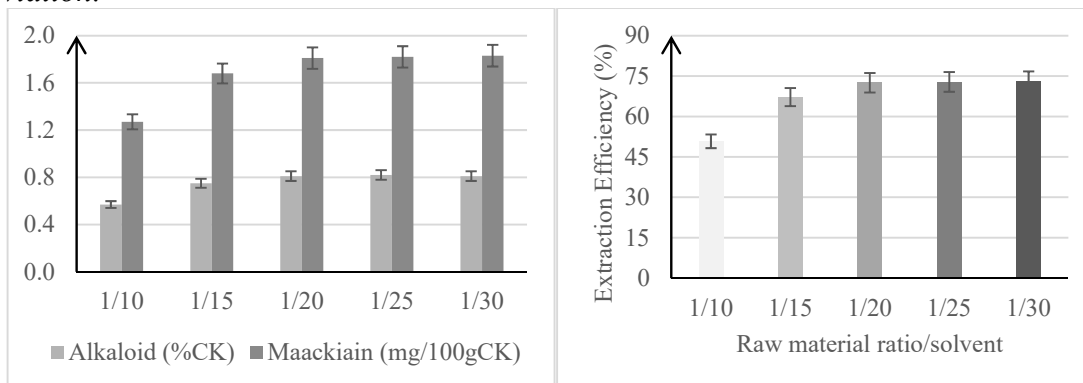


Chart 3. The influence of the raw material/solvent ratio on the extraction process of *M. speciosa* extract

The results in table 4 and chart 3 show that different material/solvent ratios yielded different extraction efficiencies of *M. speciosa*.

The material/solvent ratio of 1/10 resulted in the lowest extraction efficiency (50,8%). The highest extraction efficiency was achieved at ratios from 1/20 to 1/30 (72,5 - 73,1%). However, at ratios from 1/25 to 1/30, the extraction efficiency increased only slightly compared to the material/solvent ratio of 1/20 (only increasing from 0,33 to 0,52%). Furthermore, statistical analysis showed that the extraction efficiency between the 1/20 ratio and the 1/55 and 1/30 ratios did not differ significantly at the 5% level. Therefore, a material/solvent ratio of 1/20 was selected for further research.

Nguyen Tan Thanh and associates (2023) in the process of studying the ultrasonic

extraction conditions of total triterpenoid saponins and polysaccharides from the roots of *M. speciosa* determined the optimal conditions for extraction as follows: the solvent used for extraction is water, the water/material ratio is 38 mL/g, the extract obtained has a total triterpenoid saponin content of 1,25±0,02 mg/g and polysaccharide of 7,86±0,03 mg/g [4].

### 3.5. The effect of extraction temperature on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

The extraction efficiency was compared at 5 different temperatures: 30, 35, 40, 45, and 50°C. The solvent was 80% ethanol; the material/solvent ratio was 1/20; and the extraction time was 40 minutes. The alkaloid and maackiain content were determined. The experimental results are shown in table 5 and chart 4.

Table 5. The effect of temperature on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

Extraction temperature (°C)	Content		Extraction efficiency (%)
	Alkaloid (% dry matter)	Maackiain (mg/100g dry matter)	
30	0,71 <sup>a</sup> ±0,03	1,58 <sup>a</sup> ±0,05	63,3 <sup>a</sup> ±1,31
35	0,81 <sup>b</sup> ±0,04	1,33 <sup>b</sup> ±0,07	72,5 <sup>b</sup> ±0,92

40	0,87 <sup>c</sup> ±0,05	1,92 <sup>c</sup> ±0,04	76,8 <sup>c</sup> ±1,86
45	0,81 <sup>b</sup> ±0,04	1,81 <sup>b</sup> ±0,06	72,2 <sup>b</sup> ±1,29
50	0,79 <sup>b</sup> ±0,04	1,76 <sup>b</sup> ±0,03	70,2 <sup>b</sup> ±0,52

\*Note: Data in the same column with different capital letters (a, b, c, d) are significantly different at the 5% significance level. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation.

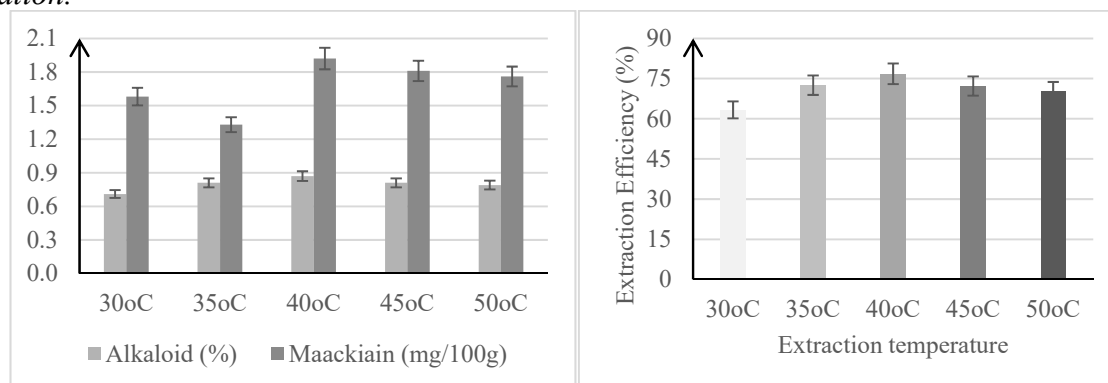


Chart 4. The effect of temperature on the extraction process of *M. speciosa* extract

The results in table 5 and chart 4 show that: As temperature increases, the movement of molecules increases, the solvent permeates quickly into the cell membrane, increasing intracellular pressure. At a certain point, the cell wall ruptures, releasing substances into the external environment, leading to increased extraction efficiency. When the temperature is increased from 35-40°C, the extraction efficiency of the bioactive alkaloid reaches 72,5-76,8%.

The optimal temperature for the extraction process is 40°C with an extraction efficiency of 76,8%. This result is also similar to the research results of Zhenyu Zhao *et al.* (2017)

when studying the optimization of extracting flavonoids from *M. speciosa* by ultrasound at 40°C, which is the optimal temperature for the extraction process [13].

### 3.6. The effect of extraction time on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

The extraction efficiency was compared at 5 different time intervals: 30; 40; 50; 60, 70 minutes. Solvent: 80% ethanol; material/solvent ratio: 1/20; extraction temperature: 40°C. The alkaloid and maackiain content were determined. The experimental results are shown in table 6 and chart 5.

Table 6. The effect of time on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

Extraction time (minutes)	Content		Extraction efficiency (%)
	Alkaloid (% dry matter)	Maackiain (mg/100g dry matter)	
30	0,70 <sup>a</sup> ±0,05	1,56 <sup>a</sup> ±0,05	62,3 <sup>a</sup> ±1,11
40	0,87 <sup>b</sup> ±0,07	1,92 <sup>b</sup> ±0,07	76,8 <sup>b</sup> ±0,97
50	0,90 <sup>b</sup> ±0,04	2,01 <sup>bc</sup> ±0,12	80,3 <sup>d</sup> ±1,75
60	0,93 <sup>b</sup> ±0,02	2,1 <sup>bc</sup> ±0,11	83,4 <sup>c</sup> ±1,81
70	0,92 <sup>b</sup> ±0,04	2,07 <sup>bc</sup> ±0,07	82,9 <sup>c</sup> ±0,46

\*Note: Data in the same column with different capital letters (a, b, c, d) are significantly different at the 5% significance level. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation.

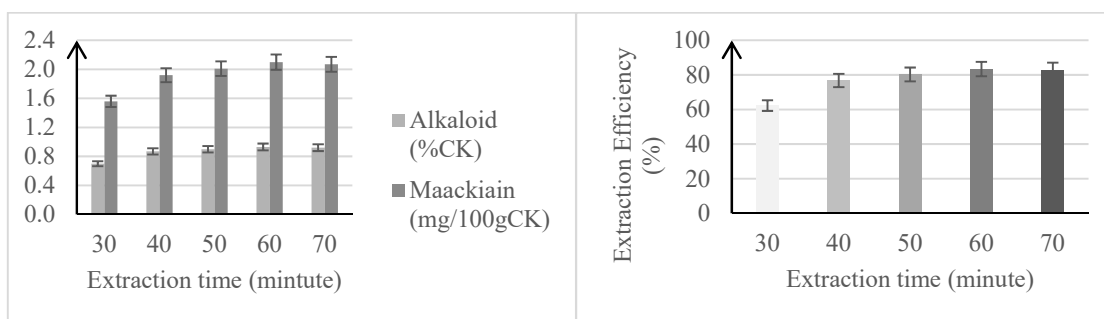


Chart 5. The effect of time on the extraction process of *M. speciosa* extract

The results in table 6 and chart 5 show that the alkaloid and maackiain content increased with increasing sonication time from 30 to 40 minutes. The highest alkaloid and maackiain content reached 0,93% and 2,1 mg/100g dry matter at 60 minutes; the extraction efficiency was 83,4%. Further increasing the sonication time to 70 minutes, the alkaloid and maackiain content tended to decrease, reaching only 0,92% dry matter and 2,07 mg/100g dry matter. The longer the sonication time, the more profound the changes in the raw material caused by the ultrasound waves. Alkaloids and maackiain are easily decomposed at high temperatures over extended periods.

Nguyen Tan Thanh and associates (2023) during the study of ultrasonic extraction conditions of total triterpenoid saponins and polysaccharides from the roots of *M.*

*speciosa*, determined that the optimal extraction time was 65 minutes, which yielded an extract with a total triterpenoid saponin content of  $1,25 \pm 0,02$  mg/g and a polysaccharide content of  $7,86 \pm 0,03$  mg/g [4].

### 3.7. The effect of the number of extractions on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

The extraction efficiency was compared at three different extraction times: 1, 2, and 3 (1st extraction time: 40 minutes, 2nd extraction time: 20 minutes, 3rd extraction time: 10 minutes). Solvent: 80% ethanol; material/solvent ratio: 1/20; temperature: 40°C. The alkaloid and maackiain content were determined. The experimental results are shown in table 7 and chart 6.

Table 7. The effect of the number of extractions on the extraction process of bioactively rich *M. speciosa* extract

Number of extraction cycles (times)	Content		Extraction efficiency (%)
	Alkaloid (%dry matter)	Maackiain (mg/100g dry matter)	
1	0,93 <sup>a</sup> ±0,02	2,1 <sup>a</sup> ±0,09	83,4 <sup>a</sup> ±1,46
2	1,01 <sup>b</sup> ±0,07	2,25 <sup>b</sup> ±0,08	90,1 <sup>b</sup> ±1,10
3	0,98 <sup>b</sup> ±0,01	2,19 <sup>b</sup> ±0,11	87,7 <sup>c</sup> ±0,93

\*Note: Data in the same column with different capital letters (a, b, c, d) are significantly different at the 5% significance level. Values represent the mean of 3 replicates ± standard deviation.

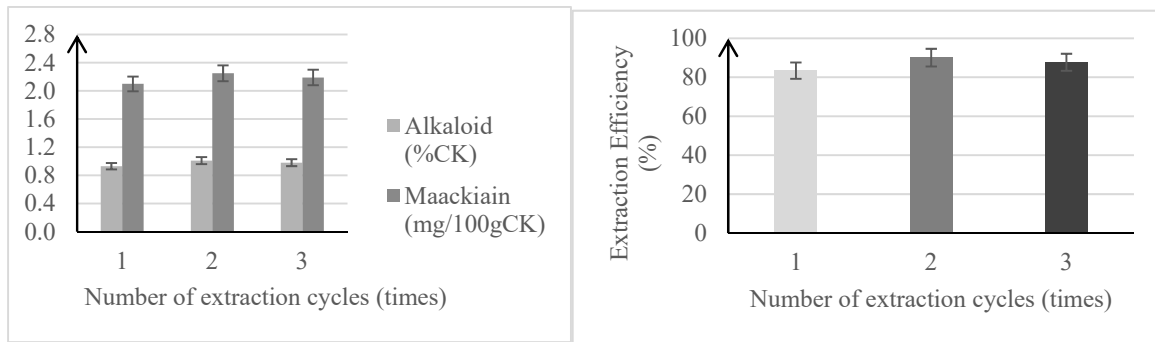


Chart 6. Effect of the number of extractions on the extraction process of *M. speciosa* extract

Table 7 and chart 6 shows that different extraction cycles resulted in different extraction efficiencies of the bioactive compounds alkaloids and maackiain.

With 1 extraction cycle, the alkaloid and maackiain content was 0,93% dry matter and 2,1 mg/100g dry matter, respectively; the extraction efficiency was 83,4%. With 2 extraction cycles, the alkaloid and maackiain content was higher, at 1,01% and 2,25 mg/100g dry matter; the extraction efficiency was 90,1%. However, when the number of extraction cycles increased to 3, the alkaloid and maackiain content did not increase but tended to decrease.

Wu *et al.* (2001) reported that when extracting saponins from ginseng (*Panax ginseng*) using ultrasonic extraction, the recovery efficiency reached > 90% of total saponins after 2 extraction cycles. Lin *et al.* (2013) also showed that ultrasonic extraction accelerates the diffusion rate of solutes, so only 1-2 extraction cycles are needed to recover most of the ginsenosides, while reflux extraction requires 3-4 extraction cycles.

### 3.8. Product quality assessment *M. speciosa* extract

Table 8. Some product quality indicators *M. speciosa* extract

TT	Target name	Unit of calculation	Result
<b>A</b>	<b>Sensory indicators</b>		
1	Color		Light yellow
2	Smell		Characteristic aroma
<b>B</b>	<b>Physicochemical indicators</b>		
1	Moisture content	%	4,52

The extracted *M. speciosa* root is purified and concentrated to obtain *M. speciosa* extract.

The extract containing the bioactive substances is coarsely filtered through a filter cloth to remove some impurities, and the liquid portion is collected. The water is then purified using an RO water purifier (with 4 filter cartridges). The extracted solution is passed sequentially through four columns with four filter cores to purify the solution.

The extracted solution was concentrated using a vacuum concentrator, with a dry matter concentration of > 40%. The concentrated extract is stored at a cool temperature (20±2°C) or dried to obtain a *M. speciosa* extract containing bioactive compounds.

*M. speciosa* extract is preserved in various types of packaging such as glass jars, sealed PE bags, etc. The product should be stored in a cool, dry place, away from direct sunlight.

The quality of *M. speciosa* extract was evaluated through the analysis of sensory, physicochemical and microbiological indicators. The results are shown in Table 8.

2	Alkaloid	% dry matter	4,04
3	Maackiain	mg/100g dry matter	9,0
<b>C</b>	<b>Microbiological indicators</b>		
1	<i>E. coli</i>	Cfu/g	Not detected
2	<i>Salmonella</i>	Cfu/g	Not detected
3	Total aerobic bacteria	Cfu/g	1,0x10 <sup>2</sup>
4	Total number of yeast and mold spores	Cfu/25g	12

The high-quality *M. speciosa* extract has a low moisture content of 4,52%; a pale yellow color, and a characteristic aroma. The alkaloid content is 4,04% dry matter, and maackiain is 9,0 mg/100g dry matter.

Microbiological analysis results show that all microbiological indicators meet food safety standards as prescribed by the Ministry

#### 4. CONCLUSION

This study investigated several technological factors in the extraction process of alkaloid bioactive compounds, maackiain, from dried *M. speciosa* rhizomes. The extraction technology for *M. speciosa* extract included the following parameters: 80% ethanol solvent; material/solvent ratio 1/20; extraction temperature 40°C; extraction time 60 minutes; double extraction (first extraction 40 minutes, second extraction 20

#### REFERENCES

1. Ministry of Health. *Vietnamese Pharmacopoeia V* - Volume 2 (2018). Medical Publishing House - Hanoi.
2. Vo Van Chi (2004). *Dictionary of Vietnamese Medicinal Plants*, Volumes 1 and 2, Medical Publishing House, Hanoi.
3. Do Tat Loi (2006). *Vietnamese Medicinal Plants and Herbs*, Medical Publishing House, Hanoi.
4. Nguyen Tan Thanh, Le Thi My Chau, Nguyen Thi Huyen, Hoang Thi Thanh Xuan, Tran Dinh Thang (2023). *Study of ultrasonic extraction conditions of total triterpenoid saponins and polysaccharides from the roots of Millettia speciosa*. Journal of Agriculture and Rural Development, pp. 67-73. Hanoi, June.

of Health (QCVN 8-1:2025/BYT; QCVN 8-2:2011/BYT; Decision No. 46/2007/QĐ-BYT of the Ministry of Health). Microbiological indicators: *E. coli*, *Salmonella*: Not detected; Total aerobic bacteria 1,0x10<sup>2</sup> Cfu/g; Total number of yeast and mold spores 12 Cfu/25g. Thus, the product meets food safety requirements.

minutes); extraction using ultrasonic waves (power 500W, ultrasonic frequency 20 kHz). The product, *M. speciosa* extract, has a light yellow color and a characteristic aroma. The bioactive content of alkaloids is 4,04% dry matter and maackiain is 9,0 mg/100g dry matter. Microbiological indicators: *E. coli*, *Salmonella*: Not detected; Total aerobic bacteria 1,0x10<sup>2</sup> Cfu/g; Total number of yeast and mold spores 12 Cfu/25g. The product meets food safety requirements.

5. Nguyen Tan Thanh, Tran Dinh Thang, Le Thi My Chau, Doan Manh Dung, Nguyen Thi Huong, Nguyen Ba Thanh (2024). *Production process of total saponin extract powder from Millettia speciosa root*. Useful solution.

6. *Determination of alkaloid content*: NIFC.05.M.111 (Gravitational method).

7. Duan Z. (2011). "The Study on Biological Characteristics and Cultivation Management Measures of *M. speciosa* Champ.", *Tropical Forestry*, 39, 22-25.

8. Huang, B., Xu, L., & Li, Z. (2008). "The reasearch of stem tissue culture from *M. speciosa*", *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 32(2), 993 - 994.

9. Yao S and Bai L., (2012). "Study on Seed Germination Characteristic of *Millettia speciosa* Champ.", Seed, 31, 36 - 38.
10. Zhang Dehua, Renshu, H., & Lou, Z. (2010). "Progress on the Method of Extraction of Alkaloids", Chinese Wild Plant Resource, 29, 15 - 20.
11. Zhang, S., Yin, T., Ling, X. *et al* (2008). "Interactions between thrombin and natural products of *Millettia speciosa* Champ. using capillary zone electrophoresis", Electrophoresis, 29 (16 SPEC. ISS.), 3391 - 3397.
12. Zhao, X. N., Wang, X. F., Liao, J. Bin *et al* (2015). "Antifatigue Effect of *Millettia speciosa* Champ. (Leguminosae) Extract in Mice", Tropical Journal of Pharmaceutical Research, 14(3), 479 - 485.
13. Zhenyu Zhao *et al* (2017). Optimum extraction of Flavonoids from *Millettia speciosa* Champ. by ultrasound, microwave and Soxhlet and evaluation of *in vitro* antioxidant activity. Measurement and Characterization; 11(4).
14. Zhi Huang *et al* (2020). New Polysaccharide compound from *Millettia speciosa* Champ. root: Isolation, structural characteristics and immunomodulatory activity. International Journal of Biological Macromolecules, 145: 547 - 557.
15. Joong - Ho Kwon, Gee-Dong Lee. Jacqueline Belanger, J.R.Jocelyn Pare (2003). Effect of ethanol concentration on the efficiency of extracting of ginseng saponins when using a microwave-assisted extraction (MAPTM). International Journal of Food Science & Technology, 38(5), page 615-622.
16. Ministry of Health. Vietnamese Pharmacopoeia V - Volume 2 (2018). Medical Publishing House - Hanoi.
17. Nguyen Thi Hang, Nguyen Thi Ha Ly, Nguyen Thi Phuong, Phuong Thien Thuong, Nguyen Thi Bich Thu, Nguyen Dinh Quan (2019). Research on isolation and quantitative analysis of maackiain in the roots of *Millettia speciosa*. Journal of Medicinal Plants, 24(3): 220-226.
18. TCVN 6846:2007, Microorganisms in food and animal feed - Methods for the detection and quantification of presumptive *Escherichia coli* - Most probable number counting technique.
19. TCVN 4884-1:2015, Microorganisms in the food chain - Methods for the quantitative determination of microorganisms - Part 1: Colony counting at 30°C by the plate pouring technique.
20. TCVN 8275-2:2010, Microorganisms in food and animal feed - Methods for the quantitative determination of yeasts and molds - Part 2: Colony counting technique in products with water activity less than or equal to 0.95.

- Ngày gửi bài: 29/12/2025
- Ngày phản biện: 11/05/2026
- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026

## THIẾT KẾ CHẾ TẠO VÀ KHẢO NGHIỆM MÁY TỰ ĐỘNG BÓC VỎ TRỨNG GÀ SAU KHI LUỘC

Nguyễn Thanh Phong<sup>1</sup>, Nguyễn Phi Hùng<sup>2</sup>, Trần Sĩ Luyện<sup>2</sup>, Lê Anh Đức<sup>1</sup>

### TÓM TẮT

Máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc với năng suất thiết kế 500 quả/giờ đã được tính toán, thiết kế và chế tạo. Máy được khảo nghiệm theo phương pháp bố trí thí nghiệm ngẫu nhiên hoàn toàn. Các chỉ tiêu kỹ thuật đánh giá gồm tỷ lệ trứng bóc

<sup>1</sup>được vỏ, tỷ lệ trứng bị tổn thương, năng suất và điện năng tiêu thụ. Kết quả nghiên cứu thực nghiệm và xử lý thống kê thực nghiệm đã xác định được các thông số làm việc của máy là khoảng cách và vận tốc của 2 trục làm dập vỏ trứng có giá trị lần lượt là  $\Delta = 45$  mm và  $v_a = 0,83$  m/s; khe hở và vận tốc giữa các cặp trục bóc vỏ lần lượt là  $e = 1$  mm và  $v_b = 0,42$  m/s. Tỷ lệ trứng được bóc vỏ là 95%, tỷ lệ trứng bị tổn thương nhỏ hơn 4,5%, năng suất máy đạt được 590 quả/giờ và điện năng tiêu thụ cho quá trình bóc vỏ là 124,3 Wh.

**Từ khóa:** máy bóc vỏ tự động, trứng gà luộc, tỷ lệ bóc vỏ, tỷ lệ trứng bị tổn thương, vận tốc bóc vỏ

## A STUDY ON THE DESIGN, MANUFACTURING, AND TESTING OF AN AUTOMATED BOILED CHICKEN EGG PEELING MACHINE

### ABSTRACT

The automated machine for peeling boiled chicken eggs with a design capacity of 500 eggs per hour was calculated, designed, and fabricated. The machine was tested using a completely randomized experimental design. The evaluated technical indicators included the egg peeling rate, egg damage rate, productivity, and electrical energy consumption. The experimental results and statistical analysis determined the operating parameters of the machine, including the distance and speed of the two shell-cracking rollers, which were  $\Delta = 45$  mm and  $v_a = 0,83$  m/s, respectively; and the clearance and speed between the peeling roller pairs, which were  $e = 1$  mm and  $v_b = 0,42$  m/s, respectively. The egg peeling rate was 95%, the egg damage rate was less than 4,5%, the achieved machine productivity was 590 eggs per hour, and the electrical energy consumption for the peeling process was 124,3 Wh.

**Key words:** automated peeling machine, boiled chicken eggs, egg damage rate, peeling rate, peeling speed.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trứng gà là thực phẩm quan trọng trong khâu phân dinh dưỡng nhờ giá trị dinh dưỡng cao, giá thành hợp lý và dễ chế biến. Trứng gà được tiêu thụ rộng rãi do nguồn cung ổn định và phù hợp với nhiều đối tượng. Trứng gà luộc cung cấp protein chất lượng cao cùng các vitamin và khoáng chất thiết yếu, góp phần tăng cường sức khỏe, hỗ trợ trao đổi chất, tốt cho não bộ, thị lực, hệ miễn dịch, xương và răng [1][2].

Cùng với sự gia tăng dân số và xu hướng sử dụng thực phẩm tiện lợi, nhu cầu tiêu thụ trứng gà luộc ngày càng tăng, đặc biệt tại nhà hàng, khách sạn, bếp ăn tập thể, trường học và khu công nghiệp. Trứng gà luộc được sử dụng trực tiếp hoặc làm nguyên liệu cho nhiều sản phẩm chế biến sẵn. Tuy nhiên, công đoạn bóc vỏ trứng sau

khí luộc hiện vẫn chủ yếu thực hiện thủ công tại các cơ sở nhỏ và vừa, dẫn đến tốn nhiều lao động, năng suất thấp và khó đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm.

Mặc dù trên thị trường đã xuất hiện một số loại máy bóc vỏ trứng, song phần lớn các thiết bị này được dùng trong những nhà máy lớn, có giá thành cao, kết cấu phức tạp, đồng thời tỷ lệ trứng bị vỡ hoặc tổn thương trong quá trình bóc vỏ còn đáng kể, khoảng 5% [3].

Trong những năm gần đây, một số nghiên cứu đã đề cập đến thiết kế và chế tạo máy bóc vỏ trứng gia cầm sau khi luộc theo các nguyên lý khác nhau. Tuy nhiên, các nghiên cứu này chủ yếu dừng ở mức đề xuất mô hình hoặc mô tả nguyên lý, chưa có thực nghiệm đánh giá ảnh hưởng của thông số làm việc đến hiệu quả bóc vỏ

<sup>1</sup> Khoa Cơ khí Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

<sup>2</sup> Sinh viên, Khoa Cơ khí Công nghệ, Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh

\*Email: leanhduc@hcmuaf.edu.vn

và mức độ tổn thương trứng [4]. Ngoài ra, các tài liệu khoa học về bóc vỏ trứng gà sau khi luộc còn hạn chế, đặc biệt là các nghiên cứu phục vụ tính toán thiết kế và tối ưu hóa thiết bị.

Xuất phát từ thực tiễn trên, việc thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc là cần thiết và có ý nghĩa khoa học cũng như thực tiễn. Nghiên cứu này nhằm xây dựng một máy tự động bóc vỏ trứng gà phù hợp với các cơ sở kinh doanh nhỏ và vừa, đồng thời

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Vật liệu nghiên cứu là trứng gà công nghiệp sau khi luộc, trứng được thu hoạch từ 1 - 5 ngày do Công ty cổ phần Chăn nuôi CP Việt Nam cung cấp. Trứng có đường kính  $B = 42 - 50$  mm và chiều dài  $L = 52 - 61$  mm. Mỗi thí nghiệm sử dụng 20 trứng. Quy trình luộc gồm: đun sôi nước, bổ sung giấm hoặc muối với tỷ lệ 1/2 muỗng cho 1 lít nước nhằm tăng độ giòn vỏ và hỗ trợ bóc vỏ; cho trứng vào luộc trong 10 - 11 phút, khuấy đều theo một chiều trong 2 - 3 phút để lòng đỏ nằm giữa, sau đó vớt trứng ngâm trong nước mát khoảng 10 phút để làm nguội trước khi tiến hành thí nghiệm xác định các chỉ tiêu nghiên cứu [5].

Phương pháp tính toán thiết kế: áp dụng lý thuyết tính toán máy bóc vỏ để xây dựng và xác định các chỉ số động lực học của máy [6]. Tham khảo các tài liệu chuyên ngành, công nghệ và các mô hình máy bóc vỏ hiện đang có trên thị trường để làm cơ sở cho việc tính toán và thiết kế [7] [8].

Tính toán thiết kế các chi tiết máy, áp dụng lý thuyết tính toán xích để xây dựng và xác định các chỉ số động học của cơ cấu cấp trứng [9]. Áp dụng lý thuyết tính toán thiết kế truyền động đai để xây dựng và xác định các chỉ số động lực học của cơ cấu đập đập vỏ trứng và cơ cấu bóc vỏ trứng gà sau khi luộc [10], [11], [12].

Phương pháp chế tạo: máy được chế tạo đơn chiếc theo các chi tiết từ bản vẽ thiết kế. Phân loại các chi tiết cấu thành máy để tiến hành sản xuất đơn chiếc, các chi tiết theo tiêu chuẩn được chọn mua trên thị trường.

Các tham số thống kê như giá trị trung bình, độ lệch chuẩn, khoảng tin cậy được sử dụng để xử lý các kết quả thực nghiệm. Kiểm tra sự khác biệt của các số liệu thí nghiệm về mặt thống kê bằng phương pháp LSD (Least Significant Difference - Giới hạn sai khác nhỏ nhất) [13].

Phương pháp đo đạc: sử dụng phương pháp đo

tiến hành khảo nghiệm để xác định các thông số kỹ thuật và thông số vận hành ảnh hưởng đến tỷ lệ bóc vỏ, tỷ lệ trứng bị tổn thương sau khi bóc được vỏ, năng suất và điện năng tiêu thụ của máy. Kết quả nghiên cứu sẽ góp phần cung cấp cơ sở khoa học cho việc hoàn thiện thiết kế và ứng dụng thực tiễn, qua đó nâng cao hiệu quả kinh tế trong chế biến trứng gia cầm và thúc đẩy quá trình cơ khí hóa trong lĩnh vực chế biến thực phẩm.

và cách đọc trị số đo theo đúng tài liệu của từng loại thiết bị trong tài liệu hướng dẫn của nhà sản xuất.

Đo trực tiếp: các thiết bị đo đạc trực tiếp sử dụng trong quá trình thực nghiệm như đồng hồ đo số vòng quay DT-2235-Contact type Digital tachometer của hãng Lutron (Đài Loan), dây đo 2,5 - 99,9 vg/ph, sai số  $\pm 0,1$ . Điều chỉnh tốc độ quay của các trục công tác bằng biến tần ABB ACS150 công suất 200 W, 1 pha, điện thế 220 V. Ngoài ra còn có các thiết bị đo khác như cân, đồng hồ bấm giây, thước kẹp... để đo trực tiếp các thông số như số vòng quay các trục đập đập trứng, trục bóc vỏ, bánh cóc và góc nghiêng buồng làm việc.

Đo gián tiếp:

Trứng gà sau khi luộc bóc được vỏ là số trứng sau khi qua máy bóc vỏ trứng mà lượng vỏ trứng còn lại trên trứng  $< 5\%$  vỏ trứng.

Trứng bị tổn thương trong số trứng bóc được vỏ là số trứng bị biến dạng bề mặt hoặc bị bể trứng trong lượng trứng bóc được vỏ thu được.

Tỷ lệ trứng bóc được vỏ: là tỷ số giữa số lượng trứng bóc được vỏ và lượng trứng đưa vào bóc vỏ ban đầu trong một lần thí nghiệm [3].

$$Y_1 = \frac{a+c}{n} \cdot 100, (\%) \quad (1)$$

Trong đó:

n: số lượng trứng gà sau khi luộc của 1 lần thí nghiệm, (quả).

a: Số lượng trứng gà sau khi luộc bóc được vỏ không bị tổn thương, (quả).

c: Số lượng trứng gà sau khi luộc bóc được vỏ nhưng bị tổn thương, (quả).

Tỷ lệ trứng bị tổn thương: là tỷ số giữa số lượng trứng gà sau khi luộc bóc được vỏ nhưng bị tổn thương trên số lượng trứng bóc được vỏ trong một lần thí nghiệm [3].

$$Y_2 = \frac{c}{a+c} \cdot 100, (\%) \quad (1)$$

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. Kết quả tính toán thiết kế và chế tạo.

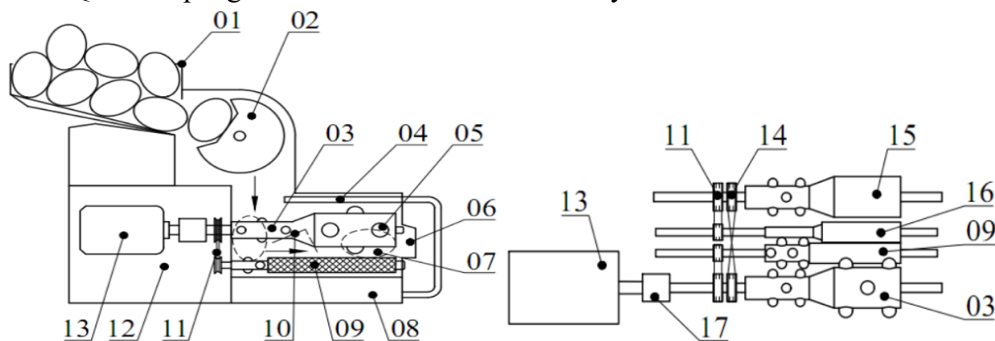
Dựa trên kết quả phân tích, nguyên lý bóc vỏ theo cơ chế đập dập – ma sát được lựa chọn cho trứng gà sau khi luộc do có khả năng bóc sạch vỏ tốt, hạn chế hư hỏng và làm việc liên tục ổn định. So với nguyên lý đập liên tục, cơ cấu này có cấu tạo đơn giản vì chỉ cần các gờ G đập dập tạo điều kiện thuận lợi cho 2 trục bóc vỏ làm việc hiệu quả hơn nên giảm hiện tượng sót vỏ, dễ chế tạo, bảo dưỡng và phù hợp với điều kiện chế biến thực tế tại Việt Nam.

- Các dữ liệu thiết kế ban đầu phục vụ cho việc tính toán và thiết kế được đo trực tiếp thông qua thực nghiệm:

Kích thước trứng gà sau khi luộc có đường kính trung bình 44,90 mm, chiều dài trung bình 57,63 mm, khối lượng trung bình 60,6 g/quả.

Nguồn động lực truyền động cho máy là động cơ điện 1 pha.

Năng suất:  $Q = 500$  quả/giờ.



**Hình 1.** Nguyên lý cấu tạo của máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc

01- Máng cấp liệu; 02-Bánh cóc; 03-Trục đập 1; 04-Ống dẫn nước; 05-G đập; 06-Cửa cấp liệu; 07-Trùng; 08-Máng hứng vỏ trứng; 09-Trục bóc vỏ 1; 10-Cơ cấu đỡ và giữ trứng; 11-Bộ truyền động đai tròn; 12-Hộp bảo vệ động cơ; 13-Động cơ; 14-Bộ truyền động đai chéo; 15-Trục đập vỏ 2; 16-Trục bóc vỏ 2; 17-Khớp nối.

Nguyên lý làm việc: khi động cơ (13) hoạt động, bộ truyền đai tròn (11) dẫn động làm quay cụm trục đập dập (03, 15) và cụm trục bóc vỏ (09, 16), đồng thời bơm nước vận hành và phun nước liên tục qua ống dẫn (04) trong suốt quá trình bóc vỏ. Trứng gà sau khi luộc và làm nguội được đưa vào máng cấp liệu (01), bánh cóc (02) quay theo chu kỳ để lấy và phân phối trứng vào buồng làm việc. Các rãnh trên bánh cóc giúp trứng trong máng di chuyển tuần tự, đảm bảo cấp liệu đều. Tại cụm trục đập dập, vỏ trứng được làm dập ở đầu nhọn, đầu tù và bề mặt ngoài nhờ chuyển động quay của các trục (03, 15). Các điểm đập G (05) vừa có nhiệm vụ

Lực bóc vỏ:  $F_b = 3,00 \div 3,27$  N

Lực đè giữ trứng:  $F_d = 0,2$  N

Đường kính trục bóc vỏ:  $d_b = 22$  mm

Khối lượng thể tích của trứng:  $\rho_v = 520$  kg/m<sup>3</sup>.

Hệ số ma sát của trứng gà sau khi luộc so với vật liệu là ống cao su latex:  $f=(0,33 - 0,38)$

Tỉ lệ bóc sạch  $y_1 > 90\%$ .

Không làm hỏng bề mặt trứng, tỉ lệ hỏng  $y_2 < 5\%$ .

Đảm bảo vệ sinh an toàn thực phẩm.

Trứng được cấp liệu liên tục vào buồng bóc vỏ nhờ cơ cấu cấp liệu theo nguyên lý bánh cóc. Các thông số có thể điều chỉnh khi máy làm việc bao gồm: thời gian cấp trứng vào buồng bóc vỏ, góc nghiêng buồng làm việc ( $\alpha$ ), số vòng quay cấp trục bóc vỏ ( $n_b$ ), số vòng quay cấp trục đập dập ( $n_d$ ) áp suất và lưu lượng nước trong quá trình bóc vỏ.

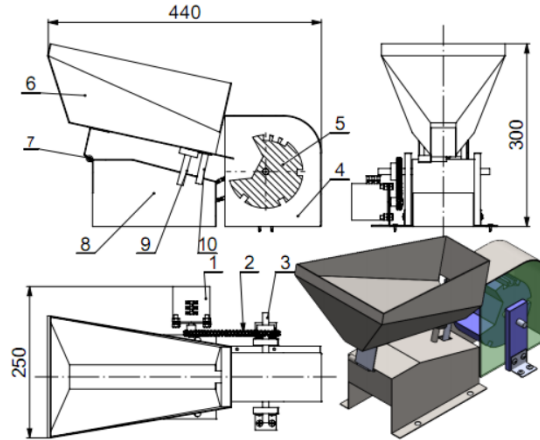
- Kết quả xác định nguyên lý cấu tạo được trình bày trên hình 1.

làm dập vỏ, vừa xoay và vận chuyển trứng sang cụm trục bóc vỏ do được bố trí dạng gờ xoắn như cánh vít tải. Thời gian đập dập tương ứng với một vòng quay của bánh cóc. Sau đó, trứng được đưa vào cụm trục bóc vỏ (09, 16) quay ngược chiều nhau để cuốn và tách vỏ trứng đã bị dập, đẩy vỏ xuống dưới và đưa trứng đã bóc vỏ ra ngoài. Nước phun liên tục giúp quá trình bóc vỏ dễ dàng hơn và làm sạch trứng sau khi bóc. Kết quả tính toán thiết kế:

+ Kết quả tính toán thiết kế cơ cấu cấp và phân phối trứng vào buồng làm việc được trình bày ở hình 2. Bánh cóc phân phối trứng (5) là cơ cấu trung gian giữa máng cấp liệu và cơ cấu bóc vỏ,

có nhiệm vụ đưa trứng từ cửa cấp liệu vào buồng bóc vỏ theo chu kỳ làm việc. Cơ cấu này giúp đảm bảo quá trình làm dập và bóc vỏ diễn ra ổn định, tránh hiện tượng quá tải trong buồng làm

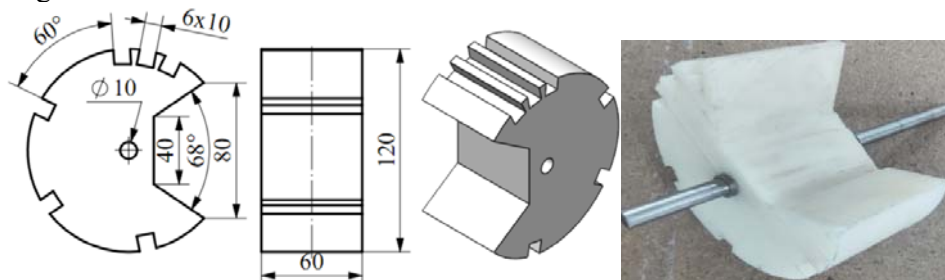
việc. Vai trò của bánh cóc (5) đặc biệt quan trọng vì giúp phân phối trứng đều đặn, qua đó nâng cao tỷ lệ bóc vỏ và đảm bảo chất lượng sản phẩm.



**Hình 2.** Nguyên lý cấu tạo của cơ cấu cấp và phân phối trứng vào buồng làm việc  
1-Động cơ; 2-Truyền động xích; 3-Trục; 4- Chi tiết bảo vệ bánh cóc; 5-Bánh cóc; 6-Máng nạp trứng; 7-Bản lề; 8-Cơ cấu đỡ máng nạp trứng; 9-Chi tiết giới hạn góc nghiêng máng nạp trứng; 10-Chốt dẫn hướng.

Kết quả tính toán bánh cóc cho thấy trứng di chuyển theo phương ngang từ phễu cấp liệu vào rãnh bánh cóc, với bề rộng trung bình khoảng 45 mm. Do đó, bề rộng bánh cóc được chọn là 60 mm và đường kính 120 mm. Bánh cóc làm từ

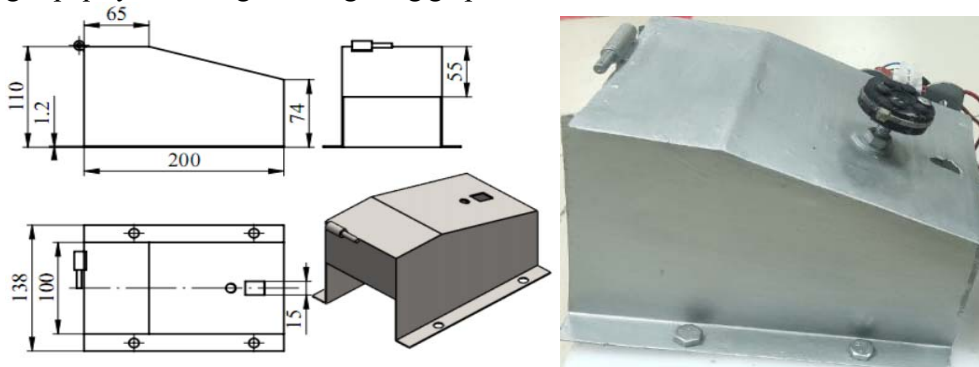
nhựa POM, truyền động bằng xích ANSI 25 (bước xích 6,35 mm), công suất 100 W, tốc độ quay 10 vòng/phút; các thông số kích thước được trình bày ở hình 3.



**Hình 3.** Các thông số kích thước cơ bản của bánh cóc

Cơ cấu đỡ máng nạp trứng có nhiệm vụ đỡ phễu cấp liệu và được bố trí đệm cao su nhằm giảm tiếng ồn khi làm việc. Phía sau cơ cấu có khớp bản lề cho phép máng nạp quay lên xuống, tạo rung động giúp

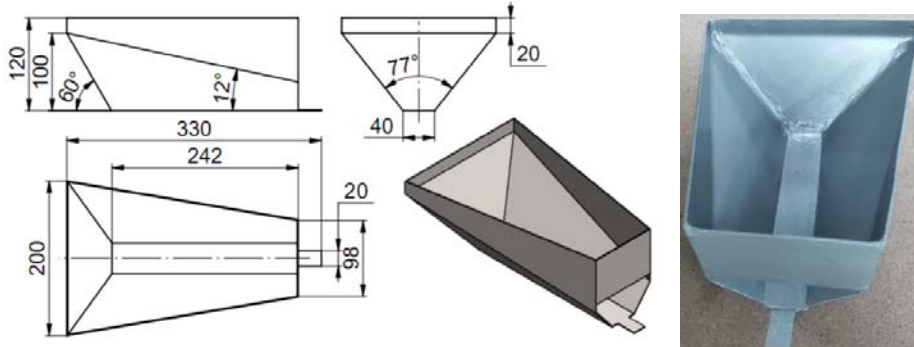
trứng di chuyển đều vào rãnh bánh cóc. Cơ cấu được chế tạo từ thép CT3 dày 1,2 mm; các kích thước chi tiết được trình bày ở hình 4.



**Hình 4.** Các thông số kích thước cơ bản của cơ cấu đỡ máng nạp trứng

Máng nạp trứng có nhiệm vụ cấp trứng liên tục vào rãnh bánh cóc, đảm bảo phân phối đều vào buồng bóc vỏ; được chế tạo từ inox 304 dày

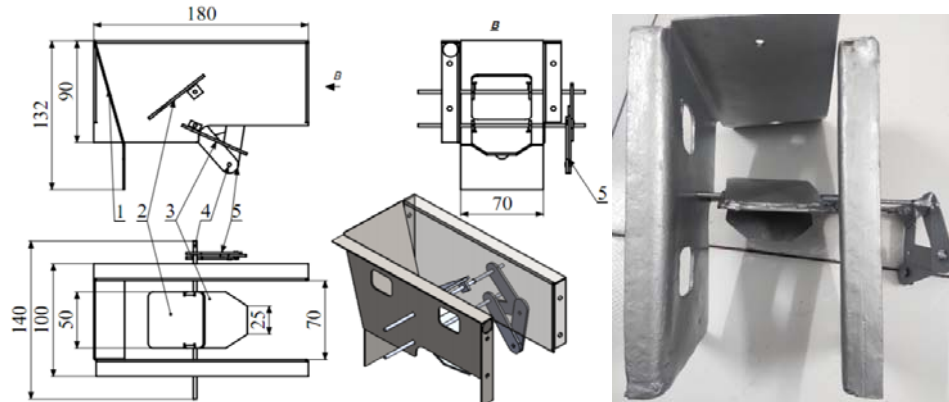
1,2 mm, chứa 20 trứng, kích thước thể hiện ở hình 5.



**Hình 5.** Các thông số kích thước cơ bản của máng nạp trứng

+ Cơ cấu đỡ và giữ trứng trong buồng làm việc có nhiệm vụ làm chậm chuyển động của trứng sau khi rơi từ bánh cóc vào buồng đập dập và bóc vỏ, tránh trứng thoát ra quá nhanh do góc nghiêng

của máy. Mặc dù không trực tiếp tham gia bóc vỏ, cơ cấu này đóng vai trò quan trọng, giúp quá trình đập dập và bóc vỏ diễn ra hiệu quả và triệt để hơn

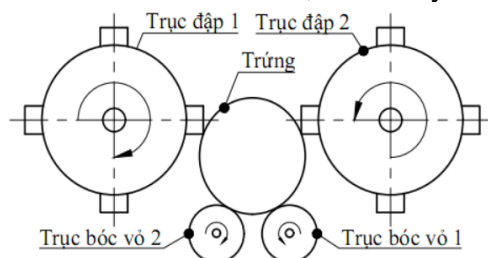


**Hình 6.** Nguyên lý cấu tạo cơ cấu đỡ và giữ trứng trong buồng làm việc

1-Tấm hướng dòng; 2-Tấm đỡ trứng; 3-Chỉ tiết giữ trứng; 4-Trục đỡ; 5-Cơ cấu hỗ trợ chỉ tiết giữ trứng.

Nguyên lý làm việc của cơ cấu đỡ và giữ trứng được mô tả như sau: khi trứng rơi từ bánh cóc xuống, trứng nằm trên tấm đỡ (2) và được giữ bởi chỉ tiết giữ trứng (3) trong khu vực đập dập, với thời gian lưu đúng bằng một vòng quay của bánh cóc (6 giây). Khi trứng tiếp theo được cấp xuống, trứng trước đó được đẩy sang khu vực bóc vỏ, kết hợp nước phun thích hợp để tách vỏ và thoát ra ngoài. Các kích thước cơ bản được trình bày ở hình 6.

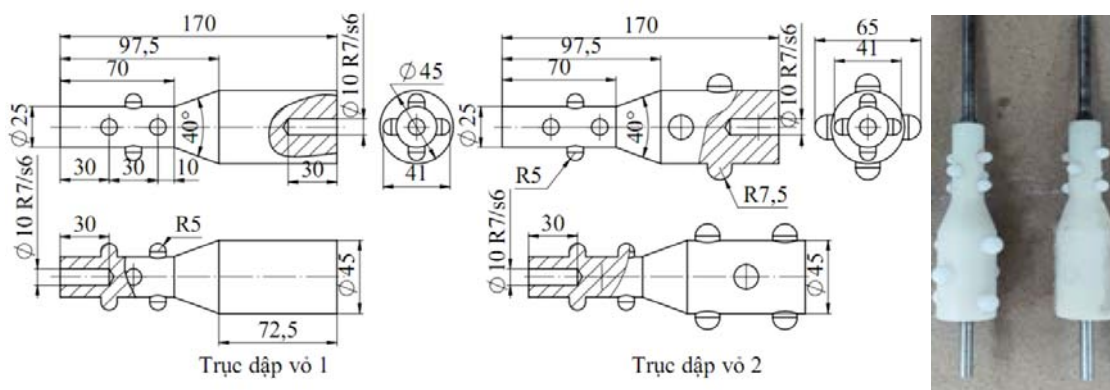
+ Kết quả tính toán thiết kế cho thấy cặp trục đập dập đóng vai trò quyết định trong việc làm dập vỏ để hỗ trợ quá trình bóc vỏ trứng. Hiệu quả đạt được khi các điểm G trên trục được bố trí theo dạng vít tải với bước không đổi, đồng thời đường kính trục tăng dần theo hướng ra cửa thoát trứng. Hai trục đập dập và hai trục bóc vỏ quay ngược chiều nhau với cùng vận tốc; sơ đồ nguyên lý được trình bày ở hình 7 và hình 1.



**Hình 7.** Sơ đồ nguyên lý đập dập vỏ trứng và bóc vỏ trứng

Kết quả tính toán cặp trục đập đập vỏ trứng: trục và gờ trên trục đập đập được chọn với vật liệu POM, có độ bền cao từ 70 - 80 Mpa. Vận tốc

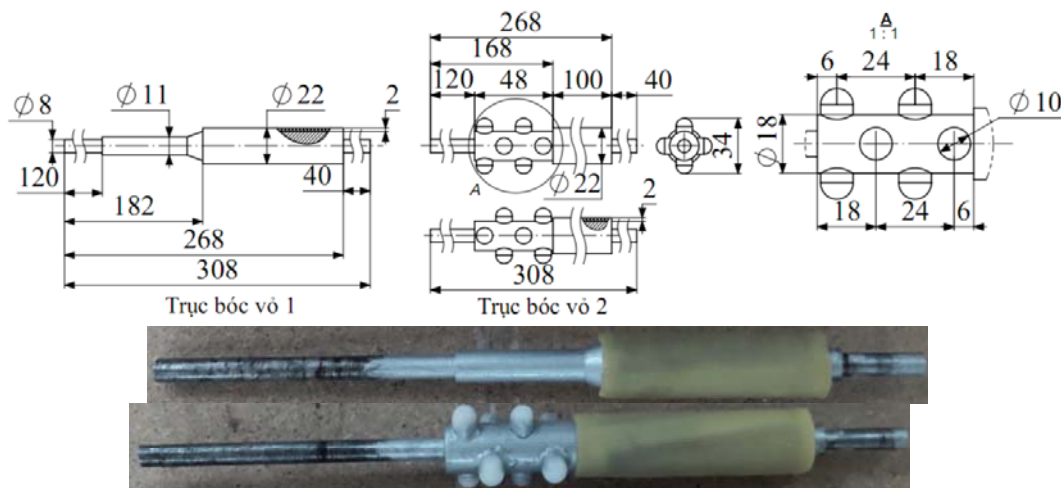
trục đập đập vỏ là 0,83 m/s. Các kích thước cơ bản của gờ đập và trục đập đập vỏ trứng được thể hiện trên hình 8.



**Hình 8.** Các thông số kích thước cơ bản của 2 trục đập đập trứng.

Cặp trục bóc vỏ giữ vai trò quan trọng trong buồng làm việc của máy. Trên một trục bố trí các gờ đập tại vị trí trứng rơi xuống từ bánh cóc, kết hợp với hai đầu nhỏ của trục đập đập nhằm tăng

hiệu quả làm đập vỏ trên toàn bề mặt trứng. Trục được chế tạo từ inox 304 và bọc cao su latex tự nhiên dày 2 mm để tăng ma sát. Các kích thước cơ bản được trình bày ở hình 9.



**Hình 9.** Các thông số kích thước cơ bản của 2 trục bóc vỏ trứng gà sau khi luộc.

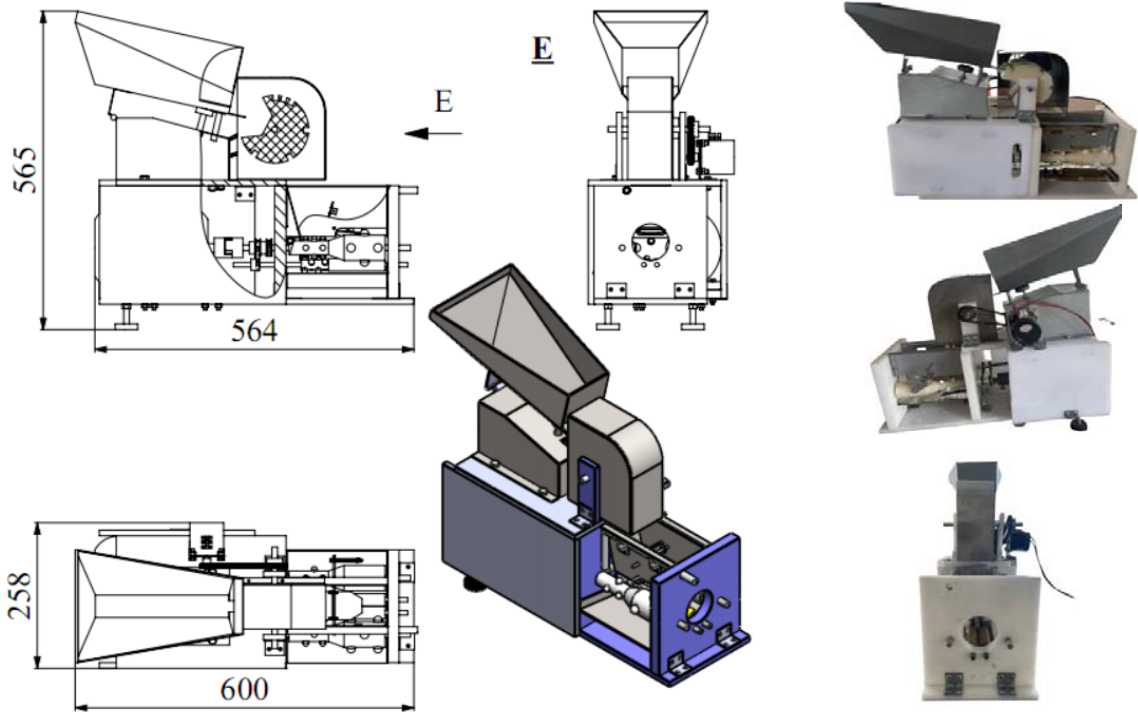
Kết quả tính toán tổng thể các thông số vật lý cũng như các thông số kỹ thuật của máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc với năng suất 500

trứng/giờ được trình bày trong bảng 1 và hình 10.

**Bảng 1.** Các thông số máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc 500 quả/giờ.

Stt	Các thông số chính	Ký hiệu và giá trị
1	Đường kính trục bóc vỏ, $d_b$	$d_b = 22 \text{ mm}$
2	Đường kính quét của Gờ đập trên trục bóc vỏ, $D_g$	$D_g = 34 \text{ mm}$
3	Đường kính trục đập đập vỏ trứng đoạn nhỏ và lớn, $d_d$	$d_d = 25 \text{ mm}, 45 \text{ mm}$
4	Đường kính quét của Gờ đập trên trục đập đập vỏ trứng, $D_d$	$D_d = 65 \text{ mm}$
5	Số lượng cặp trục bóc vỏ, $n_b$	$n_b = 1 \text{ cặp}$
6	Số lượng cặp trục đập đập vỏ, $n_d$	$n_d = 1 \text{ cặp}$
7	Khe hở giữa 2 trục bóc vỏ, $e$	$e = 1 \text{ mm}$

8	Khe hở giữa 2 trục đập đập vỏ, $\Delta$	$\Delta = 45 \text{ mm}$
9	Góc nghiêng của máy so với mặt phẳng ngang, $\alpha$	$\alpha \geq 3^\circ$
10	Vận tốc tiếp tuyến trục bóc vỏ trứng, $v_b$	$v_b = 0,42 \text{ m/s}$
11	Vận tốc tiếp tuyến tại vị trí gờ của trục đập đập vỏ trứng, $v_{dd}$	$v_d = 0,83 \text{ m/s}$
12	Công suất động cơ cơ cấu cấp và phân phối trứng vào buồng làm việc, $P_{bc}$	$P_{bc} = 16 \text{ W}$
13	Công suất động cơ cho bộ phận đập đập và bóc vỏ, $P$	$P = 100 \text{ W}$
14	Năng suất máy, $Q$	$Q = 500 \text{ quả/giờ}$



Hình 10. Máy được chế tạo và lắp ráp hoàn chỉnh.

### 3.2. Kết quả khảo nghiệm

Với các kết quả khảo nghiệm sơ bộ ban đầu đã thực hiện, nghiên cứu đã chọn được các thông số kỹ thuật tốt nhất cho máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc như sau: khoảng cách 2 trục đập đập trứng  $\Delta = 45 \text{ mm}$ ; vận tốc tại vị trí gờ của trục đập đập  $v_{dd} = 0,83 \text{ m/s}$ ; vận tốc của các trục bóc vỏ  $v_b = 0,42 \text{ m/s}$ ; khe hở giữa các cặp trục bóc vỏ  $e = 1$

mm; góc nghiêng của máy so với mặt phẳng ngang  $\alpha = 3^\circ$ . Nghiên cứu đã xác định được kết quả tỷ lệ trứng bóc được vỏ  $y_1$ , tỷ lệ trứng bị tổn thương  $y_2$ , năng suất  $Q$  và chi phí năng lượng riêng của máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc, kết quả được trình bày trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả khảo nghiệm máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc.

Mẫu	n	a+c	a	c	t	Q	$y_1$	$y_2$	A
	(quả)	(quả)	(quả)	(quả)	(giây)	(quả/giờ)	(%)	(%)	(W.h)
1	20	20	19	1	123	585,4	100,0	5,0	125,0
2	20	18	17	1	132	545,5	90,0	5,6	127,0
3	20	19	18	1	114	631,6	95,0	5,3	125,5
4	20	19	19	0	122	590,2	95,0	0,0	122,5
5	20	19	18	1	121	595,0	95,0	5,3	121,5

Trung bình	589,5	95,0	4,2	124,3
Độ lệch chuẩn ( $s_y$ )	30,7	3,5	2,4	2,3

Đề ước lượng độ biến động của tỷ lệ trứng bóc được vỏ  $y_1$  cho quá trình bóc vỏ trứng gà sau khi luộc về mặt thống kê cũng như tỷ lệ trứng bị tổn thương  $y_2$ , năng suất  $Q$  và điện năng tiêu thụ của máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc, độ lệch tiêu chuẩn thực nghiệm được xác định theo công thức (3):

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} (\%) \quad (3)$$

$x_i$ : biến số lần thứ  $i$ .

$\bar{x}$ : biến số trung bình của các lần bóc vỏ.

$n$ : số mẫu (số lần thí nghiệm),  $n = 5$ .

Nghiên cứu xác định được:

- Độ lệch chuẩn về tỷ lệ trứng bóc được vỏ:  $s_{y1} = 3,5\%$

- Độ lệch chuẩn về tỷ lệ trứng bị tổn thương:  $s_{y2} = 2,5\%$

- Độ lệch chuẩn về năng suất bóc vỏ trứng gà sau khi luộc:  $s_Q = 30,7$  quả/giờ

- Độ lệch chuẩn về điện năng tiêu thụ:  $s_A = 2,3$  Wh

Độ ổn định của các kết quả thí nghiệm, khoảng tin cậy (vùng phân bố) của các chỉ tiêu cho quá trình bóc vỏ trứng gà sau khi luộc, được xác định theo công thức (4):

$$\bar{X}_t - t_{\alpha, n} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \leq \mu \leq \bar{X}_t + t_{\alpha, n} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

$\alpha$ : mức ý nghĩa,  $\alpha = 0,05$ .

#### 4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở kế thừa kỹ thuật bóc vỏ trứng gà sau khi luộc từ các mô hình thực tế sản xuất, phân tích các ưu nhược điểm của công nghệ, thiết bị trong và ngoài nước, nghiên cứu đã thiết kế, chế tạo và khảo nghiệm máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc và được thực nghiệm trên trứng gà công nghiệp với thời gian thu hoạch từ 1 đến 5 ngày bước đầu cho thấy kết quả tính toán thiết kế và thực nghiệm đạt yêu cầu và đáp ứng được tỷ lệ trứng bóc được vỏ, tỷ lệ trứng bị tổn thương và năng suất từ yêu cầu thực tế đặt ra.

Kết quả khảo nghiệm sơ bộ đã cho thấy các kết quả phù hợp với tính toán. Các số liệu thực nghiệm được xử lý thống kê đã xác định được chế độ làm việc của máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc

$t_{\alpha, n}$ : chuẩn số theo tiêu chuẩn Student tra theo số bậc tự do ( $n - 1$ ) và mức ý nghĩa  $\alpha$ .

$$t_{0,05,4} = 2,776$$

$\mu$ : số trung bình của chỉ tiêu.

Nghiên cứu xác định được:

- Tỷ lệ trứng bóc được vỏ  $y_1$ :

$$90,6\% \leq y_1 \leq 99,39\%$$

- Tỷ lệ trứng bị tổn thương  $y_2$ :

$$1,29\% \leq y_2 \leq 7,19\%$$

- Năng suất bóc vỏ trứng gà sau khi luộc  $Q$ :

$$551,5 \text{ quả/giờ} \leq Q \leq 627,6 \text{ quả/giờ}$$

- Điện năng tiêu thụ  $A$ :

$$121,5 \text{ W.h} \leq A \leq 127,1 \text{ W.h}$$

Với kết quả như trên thì tỷ lệ trứng bóc được vỏ  $y_1$ , tỷ lệ trứng bị tổn thương  $y_2$ , năng suất  $Q$  và điện năng tiêu thụ của quá trình bóc vỏ trứng gà sau khi luộc được tính từ giá trị trung bình của các lần thí nghiệm lần lượt là 95,0%; 4,2%; 590 quả/giờ và 124,3 Wh. Bốn chỉ tiêu quan trọng của máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc đáp ứng được yêu cầu thực tế ban đầu đặt ra và tương thích với thực tế tại các cơ sở chế tạo máy bóc vỏ trứng gà sau khi luộc bán ra trên thị trường. Như vậy, với máy tự động bóc vỏ trứng gà sau khi luộc đã giải quyết được năng suất, tỷ lệ trứng bóc được vỏ và tỷ lệ trứng bị tổn thương đặt ra ban đầu.

khoảng cách 2 trục đập đập trứng  $\Delta = 45$  mm; vận tốc tại vị trí gờ của trục đập đập  $v_d = 0,83$  m/s; vận tốc của các trục bóc vỏ  $v_b = 0,42$  m/s; khe hở giữa các cặp trục bóc vỏ  $e = 1$  mm; góc nghiêng của máy so với mặt phẳng ngang  $\alpha = 3^\circ$ . tỷ lệ trứng bóc được vỏ  $y_1$ , tỷ lệ trứng bị tổn thương  $y_2$ , năng suất  $Q$  và điện năng tiêu thụ của quá trình bóc vỏ trứng gà sau khi luộc được tính từ giá trị trung bình của các lần thí nghiệm lần lượt là 95,0%; 4,2%; 590 quả/giờ và 124,3 W.h

Kết quả nghiên cứu cho thấy máy đáp ứng tốt yêu cầu về năng suất, chất lượng sản phẩm, tiết kiệm năng lượng, phù hợp với các cơ sở sản xuất và kinh doanh quy mô nhỏ, đồng thời có tiềm năng rất lớn ứng dụng trong thực tiễn.

**LỜI CẢM ƠN :** Nghiên cứu này được tài trợ bởi quỹ nghiên cứu của Trường Đại học

### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Antonio Gilbberito Bertechini, Helenice Mazzuco, 2013. *The table egg: a review*, 37 (2):115-122. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542013000200001>
2. Trần Thị Sao Mai, Đặng Thị Oanh, Đặng Thị Hương, Lê Thành Long, Nguyễn Thị Lan Hương, 2020. *Nghiên cứu tạo và tinh sạch kháng thể đa lòng lgY từ lòng đỏ trứng*. Tạp chí Kiểm nghiệm và an toàn thực phẩm, 3:191-195
3. Nguyễn Thanh Phong, Lê Anh Đức, 2024. *Thiết kế chế tạo và khảo nghiệm máy bóc vỏ trứng cút tự động*. Tạp chí Nông nghiệp Công thôn, số 53, ISSN 1859 – 4026
4. Mr. R. Senthilkumar, G. Lakshman, S. V. Nitin Sanjeeth, T. Rikesh, 2023. *Design and Fabrication of Boiled Egg Shell Removing Machine Integrated with Vegetable Chopper*. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 12(3). DOI: 10.17577/IJERTCONV12IS03050
5. Swapnil S. Patil, Mahesh Pise, Vivek Mahajan, Akshaykumar Lugade, Harshal Kharche, 2017. *Design and analysis of boiled egg peeling machine*. 7th International Conference on recent trends in engineering, science management. p 821-826, ISBN978-93-86171-12-2.
6. Lê Viên, 2003. *Các máy gia công vật liệu* Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh (Mã số: CS-SV25-CK-02). *rắn và dẻo*. Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, trang 74-83
7. TS. Trần Văn Chương, 2001. *Công nghệ bảo quản - chế biến sản phẩm chăn nuôi và cá*. Nhà xuất bản Văn hóa dân tộc, trang 53-54.
8. Van Thanh Tien Nguyen, Tien Bao Tran, Truong Giang Nguyen, Huu Hao Huynh, Van Hieu To, Duc Manh Doan, The Quang Nguyen, Van Thanh Dang, 2019. *An investigation of designing and manufacturing the hard-shell peanut peeling machine with a small scale-size*. International Journal of Scientific and Technology Research, 8 (12), ISSN 2277-8616.
9. Nguyễn Hồng Ân, Nguyễn Danh Sơn, 2004. *Máy vận chuyển liên tục*. Nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh.
10. Nguyễn Hữu Lộc, 2018. *Cơ sở thiết kế máy*. Nhà xuất bản Đại học Quốc Gia TP. Hồ Chí Minh.
11. Nguyễn Trọng Hiệp, Nguyễn Văn Lắm, 2004. *Thiết kế chi tiết máy*. Nhà xuất bản Giáo dục.
12. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển, 2006. *Tính toán, thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập I và II*. Nhà xuất bản Giáo dục.
13. Bùi Minh Trí, 2005. *Xác suất thống kê và qui hoạch thực nghiệm*. Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật Hà Nội.

- Ngày gửi bài: 06/03/2026

- Ngày phản biện: 10/05/2026

- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026

## MỘT SỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CÔNG NGHỆ VÀ THIẾT BỊ NUÔI VÀ CHẾ BIẾN DỊCH GIUN TỰ ĐỘNG

Lê Xuân Hào<sup>1\*</sup>, Trần Hồng Thao<sup>1</sup>, Dương Mạnh Cường<sup>2</sup>

### TÓM TẮT

Quy trình công nghệ nuôi giun, các yếu tố chính ảnh hưởng đến quá trình sinh trưởng của giun như: Thức ăn cho giun gồm phân bò, bã mía, rau xanh và phụ phẩm nông nghiệp được băm nhỏ, trộn đều; nhiệt độ thích hợp cho nuôi giun là  $23 \div 27^\circ\text{C}$  với độ ẩm thích hợp là  $60 \div 70\%$  và pH thích hợp là  $\text{pH } 6.5 \div \text{pH } 7.5$ . Thiết kế, chế tạo, lắp đặt được hệ thống tự động điều khiển môi trường cho quá trình nuôi giun có thể giám sát và điều khiển từ xa bằng điện thoại thông minh hoặc máy tính thông qua mạng internet đáp ứng yêu cầu công nghệ.

Về chế biến thịt giun, đã nghiên cứu đưa ra quy trình công nghệ thủy phân dịch giun (sau khi xay nghiền lạnh) với các thông số chính: Vận tốc khuấy 55 vòng/phút (Bán kính cánh khuấy 0.22 m); nhiệt độ thủy phân  $55^\circ\text{C}$ ; thời gian thủy phân 8 giờ; độ pH môi trường thủy phân là 7.0.

Đã xây dựng được 2 mô hình nuôi giun  $300 \text{ m}^2$  và  $200 \text{ m}^2$  áp dụng kỹ thuật tiên tiến, tự động điều khiển môi trường nuôi giun cùng hệ thống chế biến thủy phân dịch giun, điều khiển tự động. Về hiệu quả, so sánh với mô hình cũ trước khi ứng dụng kết quả của đề tài, thời gian nuôi giun giảm từ 3.5 tháng xuống 2.5 tháng. Mô hình công nghệ nuôi giun  $300 \text{ m}^2$  và  $200 \text{ m}^2$  cùng chế biến thịt giun bằng các thiết bị tiên tiến có thời gian thu hồi vốn là 3 ÷ 5 năm, khấu hao nhà xưởng và hệ thống thiết bị là 10 năm; tỷ lệ lợi nhuận ròng so với doanh thu là 23.6%; tỷ lệ lợi nhuận ròng so với vốn đầu tư là 27.7%.

**Từ khóa:** Công nghệ nuôi giun; nông nghiệp tuần hoàn; thiết bị nuôi giun tự động; thiết bị tự động thủy phân dịch giun.

### SOME RESEARCH RESULTS ON TECHNOLOGY AND EQUIPMENT FOR AUTOMATED EARTHWORM CULTIVATION AND PROCESSING SUMMARY

The worm farming process, the main factors affecting worm growth include: Worm feed consisting of cow manure, sugarcane bagasse, green vegetables, and agricultural by-products, all finely chopped and mixed; the suitable temperature for worm farming is  $23\text{-}27^\circ\text{C}$  with a suitable humidity of  $60\text{-}70\%$  and a suitable pH of  $6.5\text{-}7.5$ . The design, fabrication, and installation of an automated environmental control system for worm farming, capable of remote monitoring and control via smartphone or computer over the internet, meets technological requirements.

Regarding the processing of earthworm meat, research has developed a hydrolysis process for earthworm liquid (after cold grinding) with the following key parameters: Stirring speed of 55 rpm (stirring blade radius 0.22 m); hydrolysis temperature of  $55^\circ\text{C}$ ; hydrolysis time of 8 hours; and hydrolysis environment pH of 7.0.

Two earthworm farming models,  $300 \text{ m}^2$  and  $200 \text{ m}^2$ , have been developed, applying advanced techniques, automatically controlling the earthworm farming environment and the automated processing system for hydrolyzing earthworm liquid. In terms of efficiency, compared to the old model before applying the research results, the earthworm farming time has decreased from 3.5 months to 2.5 months. The  $300 \text{ m}^2$  and  $200 \text{ m}^2$  earthworm farming models, along with the processing of earthworm meat using advanced equipment (results of the research), have a payback period of 3-5 years, with depreciation of the factory and equipment system of 10 years. The net profit margin compared to revenue is 23.6%; the net profit margin compared to investment capital is 27.7%.

**Keywords:** Automatic worm farming equipment; automatic worm meat hydrolysis device; circular agriculture; worm farming technology;

### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nuôi giun để xử lý các chất thải từ trồng trọt và chăn nuôi được đánh giá là một trong những biện pháp an toàn, hiệu quả. Giun xử lý các loại chất thải thành nguồn phân bón hữu cơ cho cây trồng, đồng thời tạo ra nguồn

đạm tự nhiên từ thịt giun cung cấp cho vật nuôi. Chính nhờ những lợi ích này mà nuôi giun được áp dụng từ nhiều năm nay ở nhiều nước trên thế giới.

Giun đất có giá trị dinh dưỡng, hàm lượng protein cao, đầy đủ 17-18 các loại axit amin,

<sup>1</sup>Viện Cơ điện nông nghiệp và Công nghệ sau thu hoạch;

<sup>2</sup>Trường Kinh tế, Đại học Bách khoa Hà Nội

\*Email: haolexuan@yahoo.com

vitamin và các nguyên tố vi lượng (như sắt, kẽm, đồng,...), giàu chất chống oxy hóa như các chất phenolic, các enzyme chống oxy hóa... Các sản phẩm từ giun được chế biến và sử dụng rất phổ biến trong chăn nuôi. Một trong các sản phẩm đó là dịch giun. Giun lớn được làm sạch rồi chế biến thành mắm giun, dịch giun,... Thức ăn cho gia súc, gia cầm làm từ giun có tới 53 – 65% chất đạm, 11 – 17% chất đường bột, 7 – 32% chất khoáng và hàm lượng chất béo khá cao [1]. Chính vì vậy việc thực hiện nhiệm vụ “*Nghiên cứu công nghệ và thiết bị nuôi và chế biến dịch giun tự động*” nhằm làm chủ công nghệ và thiết bị trong việc nuôi và sản xuất dịch giun, bổ sung cho thức ăn chăn nuôi, tạo ra sản phẩm đáp ứng nhu cầu của xã hội, góp phần hoàn thiện hệ thống thiết bị tự động nuôi và chế biến dịch giun, thúc đẩy mô hình sản xuất nông nghiệp tuần hoàn hiệu quả là vô cùng cần thiết và có ý nghĩa khoa học, thực tiễn và xã hội cao. Để hoàn thành được nhiệm vụ trên, nhóm nghiên cứu đã thực hiện được các công việc [2]:

- Đã tìm hiểu kỹ thuật nuôi giun đất, đặc điểm chuồng trại nuôi của từng loại giun, vật liệu thường dùng làm chất nền để nuôi giun các giống giun và đặc tính của giun giống. Các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình nuôi giun đất như: Nhiệt độ, độ ẩm, sục khí, pH (độ axit-kiềm)... và tình hình nuôi giun đất trong nước và quốc tế.

- Đã nghiên cứu về thủy phân thịt giun, giới thiệu enzyme protease, đặc điểm, cơ chế xúc tác, protease nội sinh từ giun.

- Đã nêu ra các yếu tố ảnh hưởng đến hoạt tính xúc tác của enzyme thủy phân như: nhiệt độ, pH, nồng độ cơ chất và enzyme, chất hoạt hóa và ức chế, thời gian hoạt động...

- Đã tìm hiểu sơ đồ công nghệ chế biến dịch giun:

***Giun thịt → Ngâm, rửa sạch → Xay nghiền lạnh ( $t^{\circ}C \leq 5$ ; thời gian) → Thủy phân ( $t^{\circ}C$ ; pH; enzyme; thời gian) → Dịch giun và thu hồi dịch giun.***

- Đã nghiên cứu về các thiết bị nuôi và chế biến giun trong và ngoài nước.

Như vậy qua nghiên cứu các tài liệu, kết quả nghiên cứu nuôi và chế biến một số sản phẩm giun trên thế giới và Việt Nam như đã trình bày ở trên và khảo sát sơ bộ tại một số cơ sở sản xuất, chế biến giun tại Hà Nội, có một số nhận xét chung như sau:

- Nuôi giun đất, ngoài việc xử lý môi trường phân trâu bò, rác thải hữu cơ còn chế biến thịt giun làm thức ăn bổ sung cho chăn nuôi với hàm lượng protein cao hơn bột cá và có thể sử dụng giun đất làm thuốc trong ngành dược, đông y chữa bệnh cho con người.

- Giun đất rất nhạy cảm với môi trường như ánh sáng, nhiệt độ, độ ẩm, oxy tầng đáy, tiếng ồn... và nhất là chất lượng thức ăn cần phải với độ ẩm, tỉ lệ C/N, pH, độ nhỏ hợp lý. Giun thích bóng tối, do vậy cần phải che luống nuôi giun. Ở nước ngoài, việc nuôi giun là theo hướng công nghiệp, tự động, năng suất cao. Môi trường nuôi giun được điều khiển với công nghệ mới nhất, điều khiển từ xa. Ở Việt Nam, các nghiên cứu cho việc nuôi giun có chất lượng và năng suất cao chưa thấy nhiều. Các nhà xưởng để nuôi giun hầu hết là đơn giản, chưa áp dụng nhiều công nghệ mới, điều khiển môi trường như nhà nuôi trồng nấm và hoa lan. Trên cơ sở các thông tin kết quả đã nghiên cứu về công nghệ, thiết bị điều khiển môi trường nuôi tự động, chúng ta hoàn toàn có thể nghiên cứu hoàn thiện được công nghệ nuôi giun phù hợp và chế tạo, lắp ráp các thiết bị, máy móc tự động cho nuôi giun.

- Chế biến dịch giun có hàm lượng protein tổng số cao nhằm bảo quản được lâu, dễ vận chuyển làm nguyên liệu bổ sung cho thức ăn chăn nuôi, thúc đẩy nghề nuôi giun và phát triển ngành chăn nuôi nói chung ở Việt Nam là cần thiết. Sử dụng enzyme protease để thủy phân thịt giun sẽ tăng hiệu quả quá trình thủy phân thịt giun, tạo các sản phẩm mới chứa hàm lượng protein hòa tan cao hơn, dễ hấp thụ cho vật nuôi.

- Hệ thống các thiết bị thủy phân trong công nghiệp là đa dạng, tuy nhiên cần nghiên cứu tính toán thiết kế, chế tạo, lựa chọn và áp dụng tốt cho từng mô hình sản xuất. Cần

## II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 2.1. Đối tượng nghiên cứu

Giun giống (chủng *Eisenia fetida*); giun thịt; hệ thống thiết bị điều khiển môi trường nuôi giun tự động; hệ thống thiết bị thủy phân dịch giun.

### 2.2. Trang thiết bị

Thiết bị, dụng cụ trong phòng thí nghiệm phục vụ thủy phân thịt giun của Viện Cơ điện nông nghiệp và Công nghệ sau thu hoạch.

### 2.3. Phương pháp phân tích

Áp dụng các phương pháp phân tích phổ biến hiện nay có liên quan nội dung nghiên cứu như: Tỷ lệ tăng trưởng giun (mg/con/ngày); Hiệu suất thủy phân (%) =  $N/No \times 100$ ; Hoạt độ enzyme alcalase được xác định theo phương pháp Anson cải tiến (1938); Hàm lượng protein thô theo %,  $W_p = 6,25 \times W_n$ .

### 2.4. Phương pháp nghiên cứu chung

- Sử dụng phương pháp kết hợp nghiên cứu lý thuyết và nghiên cứu thực nghiệm;

nghiên cứu tính toán, lắp đặt hệ thống điều khiển, sản xuất tự động cho chế biến dịch giun.

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm đơn yếu tố;

- Phương pháp đánh giá, phân tích các yếu tố ảnh hưởng của nguyên vật liệu đầu vào, yếu tố công nghệ ảnh hưởng đến quá trình nuôi, chế biến dịch giun và yêu cầu chất lượng, số lượng sản phẩm đầu ra;

- Lập sơ đồ mẫu cho quá trình nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và thực tiễn tại cơ sở sản xuất. Các thí nghiệm được thực hiện với mức độ lặp lại ít nhất 3 lần;

- Quy trình công nghệ được thử nghiệm, hiệu chỉnh ở trong phòng thí nghiệm, quy mô pilot và cuối cùng là có thể áp dụng ở quy mô sản xuất.

- Đối với các máy móc, hệ thống thiết bị áp dụng phương pháp tính toán, thiết kế vẽ trên phần mềm AutoCad, Inventor; Phương pháp thiết kế điều khiển tự động logic bằng phần mềm lập trình PLC kết nối màn hình HMI, hiển thị cài đặt giá trị các tham số, trạng thái hoạt động các thiết bị. PLC giao tiếp với smartphone qua internet.

## III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Hoàn thiện quy trình nuôi giun, thiết kế, lựa chọn, lắp đặt hệ thống thiết bị nuôi giun tự động

#### 3.1.1. Hoàn thiện quy trình công nghệ nuôi giun (chủng *Eisenia fetida*) qui mô $200m^2 \div 300m^2$

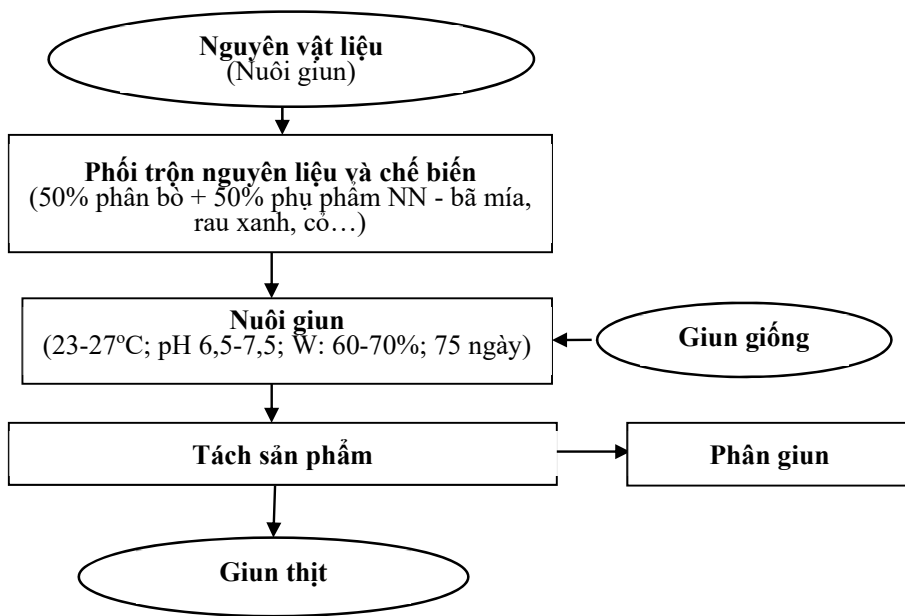
Đề tài đã tiến hành các thí nghiệm xác định điều kiện tối ưu của các yếu tố ảnh hưởng đến tốc độ tăng trưởng của giun gồm: công thức thức ăn, nhiệt độ, độ ẩm, độ pH môi trường sống của giun để đưa vào điều khiển tự động, được thể hiện trên hình 1.

Kết quả nghiên cứu đã xác định các yếu tố ảnh hưởng đến sự sinh trưởng của giun:

- Với thức ăn nuôi giun, đề tài đã chế tạo được máy để chế biến băm nghiền trộn rau xanh, phân bò với tỷ lệ 50% phân bò và 50% rau xanh, phụ phẩm nông nghiệp đạt kích thước từ 3 ÷ 5 mm theo yêu cầu công nghệ thức ăn nuôi giun (Bảng độc quyền sáng chế số 38898) [3].

- Nhiệt độ môi trường nuôi giun: 23 - 27°C;

- Độ ẩm môi trường nuôi giun: 60-70%;  
Độ pH: pH 6,5 – 7,5.

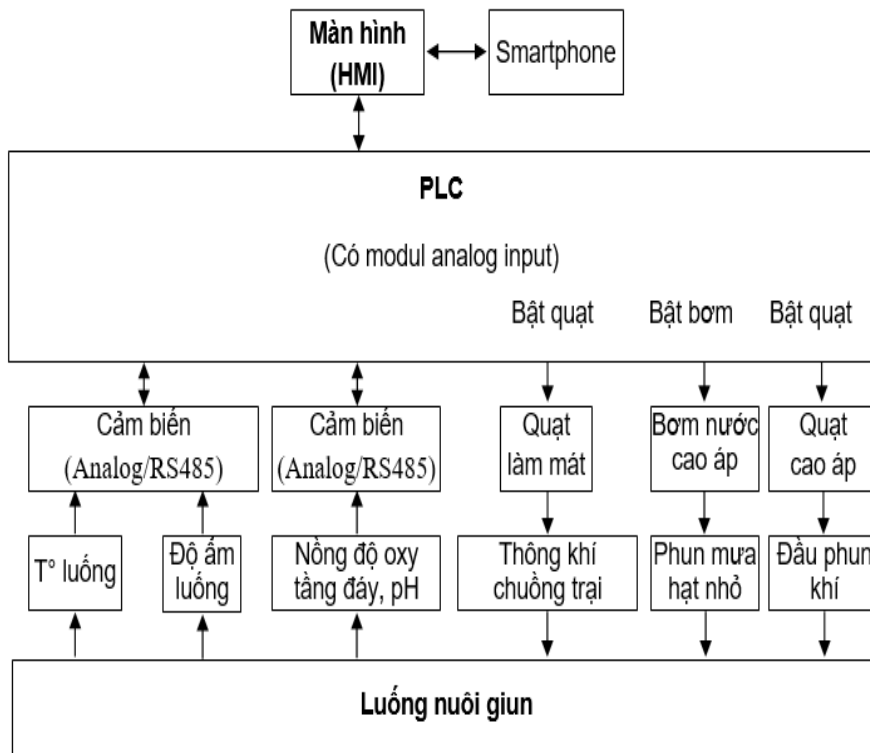


Hình 1. Sơ đồ quy trình công nghệ nuôi giun

**3.1.2. Tính toán, thiết kế, lựa chọn, các thiết bị điều khiển và thiết bị chấp hành của hệ thống thiết bị môi trường nuôi giun tự động**

Hệ thống thiết bị môi trường nuôi giun tự động được tính toán, thiết kế và lắp đặt dựa

trên sơ đồ quy trình công nghệ nuôi giun hình 1 với sơ đồ nguyên lý thể hiện trên hình 2. Các thông số được điều khiển, thiết lập trên màn hình HMI kết nối PLC giao tiếp với smartphone qua internet [4].



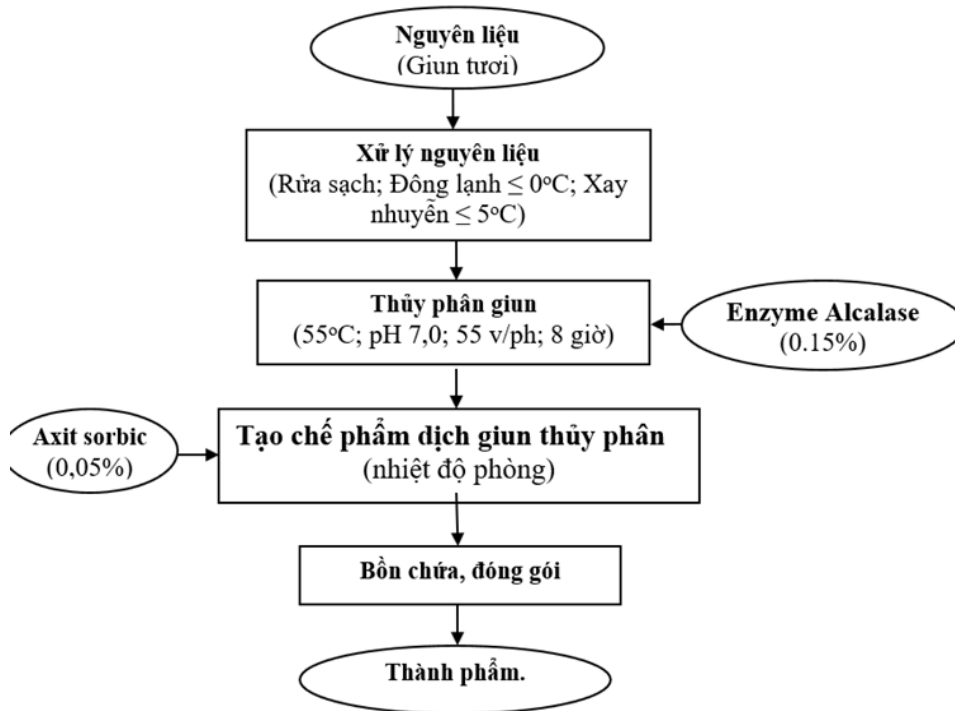
Hình 2. Sơ đồ nguyên lý làm việc hệ thống điều khiển môi trường nuôi giun

**3.2. Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ, nghiên cứu thiết kế, chế tạo, lựa chọn thiết bị sản xuất dịch giun tự động năng suất 500 kg giun tươi/m<sup>2</sup>**

**3.2.1. Hoàn thiện công nghệ thủy phân thịt giun bằng enzyme**

Nghiên cứu phương pháp xử lý nguyên liệu giun; Nghiên cứu chế độ thủy phân dịch giun bằng enzyme; Nghiên cứu lựa chọn điều kiện thu hồi, tạo chế phẩm dịch giun giàu axit

amin và phương pháp bảo quản sản phẩm; Ảnh hưởng của loại bao bì; Nghiên cứu xác định điều kiện bảo quản chế phẩm dịch giun thủy phân (Điều kiện bảo quản ở nhiệt thường được chọn cho bảo quản chế phẩm dịch giun thủy phân); Đánh giá chất lượng chế phẩm dịch giun thủy phân sau 06 tháng bảo quản ở nhiệt độ thường; Đề xuất quy trình công nghệ sản xuất dịch giun giàu axit amin, quy mô 500 kg giun tươi/m<sup>2</sup> trên hình 3.



**Hình 3.** Sơ đồ quy trình công nghệ sản xuất dịch giun giàu axit amin

**3.2.2. Nghiên cứu thiết kế, chế tạo, lựa chọn hệ thống thiết bị sản xuất dịch giun tự động, công suất 500 kg nguyên liệu giun tươi/m<sup>2</sup>**

Sau quá trình tính toán thiết kế, đề tài đã xác định được một số thông số chính của thiết bị thủy phân điều khiển tự động trên màn hình HMI như sau:

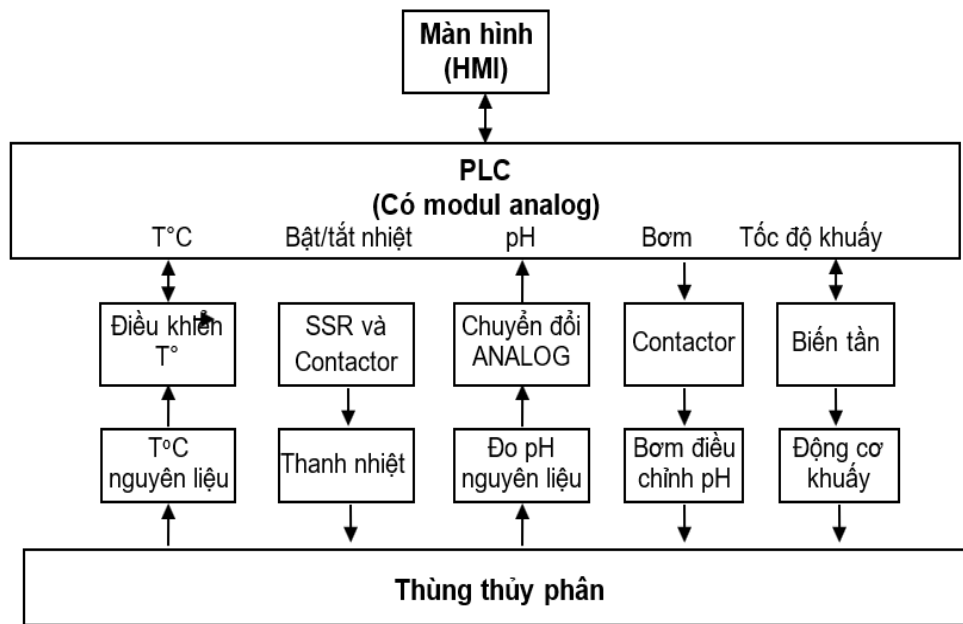
Thể tích bồn chứa dung dịch  $V = 0,75 \text{ m}^3$ ; Công suất động cơ khuấy  $N = 1,5 \text{ kW}$ ; Số vòng quay trục khuấy  $n = 40-70$  vòng/phút (Tuy nhiên trong quá trình nghiên cứu công nghệ thiết bị này có lắp biến tần điều khiển tốc độ từ 10 - 200 vòng/phút); Bán kính cánh khuấy  $r_k = 0,22 \text{ m}$ ; Nhiệt độ làm việc của thiết

bị 40 - 100 °C; Chiều dày thân thiết bị, đáy thiết bị  $\delta = 1.5 \text{ mm}$ ; Bán kính thân thiết bị  $r_t = 0,44 \text{ m}$ ; Chiều cao tổng thể  $h = 2 \text{ m}$ ; Công suất gia nhiệt  $Q_1 = 24 \text{ kW.h}$ .

**3.2.3. Tính toán, thiết kế, lựa chọn các thiết bị điều khiển và thiết bị chấp hành của hệ thống thiết bị thủy phân thịt giun tự động, công suất 500 kg nguyên liệu giun tươi/m<sup>2</sup>**

a) hệ thống thiết bị điện - điều khiển thiết bị thủy phân thịt giun

\* Sơ đồ nguyên lý điều khiển các thông số trong quá trình thủy phân thịt giun được trình bày trên hình 4.



**Hình 4.** Sơ đồ nguyên lý làm việc hệ thống điều khiển máy thủy phân

Yêu cầu điều khiển và công suất lắp đặt của các thiết bị thủy phân dịch giun gồm có các thành phần chính như trong bảng 1.

**Bảng 1.** Yêu cầu điều khiển và công suất lắp đặt máy thủy phân thịt giun

TT	Thiết bị	Công suất, kW	SL	Yêu cầu điều khiển và diễn giải
1	Động cơ khuấy	1,5 kW (3P)	1	Điều chỉnh tốc độ vô cấp
2	Gia nhiệt gián tiếp	24 kW (1P)	1	- Gia nhiệt bằng điện được chia làm 2 cấp; - Dải nhiệt độ điều chỉnh: 50 ÷ 55°C.
3	Bơm hoá chất điều chỉnh pH	0,2 kW (1P)	1	Định lượng theo thời gian
<b>Tổng công suất lắp đặt:</b>		<b>25,7 kW</b>		

b) *Thiết kế, tính toán mạch động lực, điều khiển và lựa chọn các thiết bị thừa hành*

Tổng công suất lắp đặt của thiết bị thủy phân thịt giun là 25,7 kW. Máy được phân thành hai nhóm chính: Nhóm các thiết bị động lực (Thiết bị khuấy và thiết bị gia nhiệt bằng điện) và nhóm các thiết bị điều khiển (PLC, HMI, SSR, bộ điều khiển t°C, điều khiển pH, v.v...)

\* Cơ sở tính toán thiết kế mạch điện

*Công thức chung tính toán các thông số của động cơ điện:*

$$P_{dm} = \sqrt{3} \cdot U_{dm} \cdot I_{dm} \cdot \cos \varphi \cdot \eta$$

\* Tính toán, lựa chọn thiết bị đóng cắt và thiết bị bảo vệ máy thủy phân thịt giun điều

khiển PLC trong hệ thống thủy phân dịch giun dựa trên các thông số đã tính toán ở trên.

### 3.2.4. Chế tạo hệ thống thiết bị sản xuất dịch giun, năng suất 500 kg nguyên liệu giun tươi/m<sup>2</sup>

Sử dụng các máy cuộn tôn, tiện, phay, các máy cắt tôn, máy hàn tig, hàn mig để chế tạo các chi tiết của thiết bị.

Đề tài đã đưa ra quy trình công nghệ và chế tạo ra các bộ phận của thiết bị, lắp ghép thành thiết bị hoàn chỉnh.

### 3.2.5. Lắp đặt vận hành hệ thống thủy phân dịch giun

Đã lắp đặt thiết bị và vận hành tại 2 mô hình sản xuất, thể hiện trên hình 5, hình 6 và hình 7.

**3.3. Kết quả xây dựng 2 mô hình trên 2 vùng chăn nuôi bò trọng điểm của Hà Nội**

**3.3.1. Xây dựng mô hình nuôi giun tự động và chế biến giun quy mô 300m<sup>2</sup> làm nguyên liệu để sản xuất thức ăn chăn nuôi**

Với các kết quả nghiên cứu đạt được ở các mục 3.1 và 3.2 ở trên, Viện Cơ điện nông

ng nghiệp và Công nghệ sau thu hoạch đã kết hợp với HTX nông nghiệp và dịch vụ thương mại Hiệp Thụ (Thôn Phù Đổng 2, xã Phù Đổng, TP. Hà Nội) để triển khai xây dựng mô hình nuôi giun tự động và chế biến giun quy mô 300 m<sup>2</sup> làm nguyên liệu để sản xuất thức ăn chăn nuôi, hình 5 và hình 6.



**Hình 5.** Hệ thống thiết bị điều khiển môi trường nuôi giun **Hình 6.** Hệ thống TB thủy phân

**3.3.2. Xây dựng mô hình nuôi giun quy mô 200 m<sup>2</sup>**

Địa điểm: Trang trại hữu cơ Hoa Viên, Thôn Dục, xã Thạch Thất, TP. Hà Nội



**Hình 7.** Hệ thống thiết bị nuôi giun tại mô hình 200 m<sup>2</sup>

**IV. HIỆU QUẢ KINH TẾ VÀ KHẢ NĂNG ỨNG DỤNG**

Kết quả xây dựng mô hình sản xuất trong thực tế tại 2 địa điểm lựa chọn, đề tài đã sơ bộ tính toán hiệu quả kinh tế như sau: Thời gian thu hồi vốn là khoảng 3÷5 năm, khấu hao nhà xưởng và hệ thống thiết bị là 10 năm; tỷ lệ lợi nhuận ròng so với doanh thu là 23,6%; tỷ lệ lợi nhuận ròng so với vốn đầu tư là 27,7%. Khi so sánh với mô hình cũ trước khi ứng dụng kết quả của đề tài (mô hình 300

m<sup>2</sup>), thời gian nuôi giun giảm từ 3,5 tháng xuống còn 2,5 tháng.

Về khả năng ứng dụng, ngoài các đơn vị ứng dụng theo đề tài như HTX nông nghiệp và dịch vụ thương mại Hiệp Thụ và Trang trại hữu cơ Hoa Viên, đề tài còn ký hợp đồng cung cấp hệ thống thiết bị và công nghệ chế biến thức ăn và điều khiển môi trường nuôi giun quy mô 500 m<sup>2</sup> với Công ty Cổ phần sản xuất và thương mại GeenCoop Việt Nam. Hệ thống được thiết kế theo các quy mô khác

nhau như: hộ gia đình, trang trại, HTX, công ty... Hệ thống cũng có thể tách thành 2 modul nuôi và chế biến riêng biệt để dễ dàng tiếp

### V. KẾT LUẬN

1. Đã hoàn thiện quy trình công nghệ nuôi giun thiết kế, lắp đặt hệ thống thiết bị nuôi giun tự động (chủng *Eisenia fetida*) qui mô  $200 \div 300 m^2$  bao gồm:

- Điều kiện tối ưu để mô hình nuôi giun đạt năng suất và hiệu quả cao: Thức ăn cho giun có thành phần là phân bò và bã mía, rau xanh với tỷ lệ phối trộn là 50% phân bò và 50% bã mía và rau xanh và một số phụ phẩm nông nghiệp; Nhiệt độ thích hợp cho nuôi giun là  $23 - 27 ^\circ C$ ; Độ ẩm thích hợp cho nuôi giun là 60 - 70%; pH thích hợp cho nuôi giun là pH 6,5 - 7,5.

- Tính toán, thiết kế, lựa chọn, các thiết bị điều khiển và thiết bị chấp hành của hệ thống thiết bị môi trường nuôi giun tự động quy mô  $300 m^2$ .

### KIẾN NGHỊ

Tập trung nhân rộng mô hình có điều khiển môi trường nuôi giun tự động, kỹ thuật cao góp phần xử lý tốt môi trường đầu vào, tận dụng phế phụ phẩm nông nghiệp, kết hợp chế

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Văn Bầy. "Nghiên cứu sản xuất và sử dụng giun đất (*Perionyx excavatus*) làm thức ăn bổ sung cho gà để góp phần nâng cao hiệu quả nuôi gà thả vườn ở nông hộ". *Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Nông Lâm TP.HCM*: 178, 2002.

2. Lê Xuân Hào, Nguyễn Đức Vinh, Trần Hồng Thao, Nguyễn Thị Hoài Trâm, Nguyễn Bá Tân và CS (2023), *Nghiên cứu phát triển công nghệ và chế tạo thiết bị phục vụ cho nuôi và sản xuất một số chế phẩm từ giun làm nguyên liệu cho thức ăn chăn nuôi*, Đề tài

cận nhu cầu và quy mô của từng đơn vị đầu tư.

2. Đã nghiên cứu hoàn thiện qui trình công nghệ và nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thiết bị sản xuất dịch giun tự động công suất 500 kg nguyên liệu giun tươi/mẻ.

3. Đã xây dựng 2 mô hình nuôi giun trên 2 vùng chăn nuôi bò trọng điểm của Hà Nội theo mô hình nông nghiệp tuần hoàn, bao gồm:

\* Đã xây dựng mô hình nuôi giun tự động và chế biến giun quy mô  $300 m^2$  làm nguyên liệu để sản xuất thức ăn chăn nuôi tại HTX nông nghiệp và dịch vụ thương mại Hiệp Thụ, thôn Phù Đồng 2, xã Phù Đồng, TP. Hà Nội.

\* Đã xây dựng mô hình nuôi giun quy mô  $200 m^2$  tại Trang trại hữu cơ Hoa Viên, Thôn Dục, xã Thạch Thất, TP. Hà Nội.

biến các sản phẩm từ nuôi giun trên các thiết bị tự động theo kết quả nghiên cứu, đạt hiệu quả kinh tế cao, phù hợp xu hướng sản xuất nông nghiệp xanh, tuần hoàn khép kín hiện nay.

Nghiên cứu khoa học cấp TP. Hà Nội, Mã số 01C-06/2020-3.

3. Bằng độc quyền sáng chế số 38898, *Máy chế biến thức ăn nuôi giun từ chất thải hữu cơ*, Chủ bằng độc quyền: Viện Cơ điện nông nghiệp và Công nghệ sau thu hoạch, Các tác giả: Lê Xuân Hào, Nguyễn Bạch Xuyên, Phạm Nguyễn Minh Hiếu.

4. Trần Hồng Thao, Phạm Anh Tuấn, Nguyễn Đức Vinh và CS, *Nghiên cứu ứng dụng công nghệ và hệ thống thiết bị sấy gỗ rừng trồng bằng bơm nhiệt chân không, dung tích  $20m^3$  gỗ/mẻ*, Đề tài trọng điểm cấp Bộ của Bộ Nông nghiệp và phát triển Nông thôn Hà Nội, tháng 12 năm 2020.

- Ngày nhận bài: 04/05/2026

- Ngày phản biện: 01/06/2026

- Ngày duyệt đăng: 03/06/2026

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO CỤM DAO XOẮN  
LIÊN TỤC TRÊN MÁY PHÁ LỤC BÌNH

Lê Thanh Sơn<sup>1,2</sup>, Nguyễn Công Nguyễn<sup>2\*</sup>, Vũ Việt Toàn<sup>2</sup>, Nguyễn Như Nam<sup>2</sup>

**TÓM TẮT**

Xuất phát từ hạn chế của các dạng dao cắt truyền thống trước đặc tính phức tạp của lục bình, nghiên cứu thiết kế và chế tạo cụm trống dao xoắn liên tục nhằm giảm va đập, phân bố đều lực cắt và tăng độ ổn định. Các thông số kỹ thuật được tính toán thiết kế làm cơ sở khai triển biên dạng dao từ phiôi phẳng phục vụ chế tạo. Hệ thống được lắp ráp và thực nghiệm sơ bộ tại điều kiện bể thử và trên sông Vàm Cỏ Tây, Tây Ninh. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống làm việc ổn định, đạt hiệu suất cao, giảm rung động, hạn chế quá tải và đáp ứng tốt yêu cầu băm phá lục bình mật độ cao ( $25 \text{ kg/m}^2$ ) ở dải tốc độ quay  $300 \div 350$  vòng/phút với bề rộng cắt phá 2,6 m cho khả năng cắt phá lục bình với kích thước lục bình đầu ra  $< 10 \text{ cm}$ . Nghiên cứu là cơ sở cho việc hoàn thiện thiết kế và chuẩn hóa thông số kỹ thuật khi ứng dụng trên các cấu hình máy phá lục bình khác nhau.

**Từ khóa** - Dao xoắn liên tục, máy phá lục bình, trống dao cắt phá lục bình, xử lý lục bình.

**DESIGN, STRUCTURAL ANALYSIS, AND FABRICATION OF A CONTINUOUS  
HELICAL KNIFE ASSEMBLY FOR A WATER HYACINTH SHREDDING MACHINE**

**ABSTRACT**

To overcome the dynamic limitations of conventional cutting mechanisms when dealing with the complex mechanical properties of water hyacinths, this study proposes the design and fabrication of a continuous helical knife drum assembly. This configuration aims to minimize impact loads, achieve a uniform distribution of cutting forces, and enhance overall system stability. The technical parameters were calculated to establish a theoretical basis for developing the helical blade profile from flat steel stock for manufacturing purposes. The system was subsequently assembled and subjected to preliminary experiments both in a controlled testing tank and under actual operating conditions on the VamCo Tay River, Tay Ninh province. Experimental results demonstrated that the system operated with high stability and efficiency, significantly reduced vibrations, and effectively prevented overloading. Operating at a rotational speed range of  $300 \div 350$  rpm with a working width of 2,6 m, the equipment successfully fulfilled the requirements for shredding high-density water hyacinth mats ( $25 \text{ kg/m}^2$ ), producing an output biomass size of  $< 10 \text{ cm}$ . This study provides a crucial foundation for refining the design and standardizing the technical parameters for application across various water hyacinth shredding machine configurations.

**Keywords** - Continuous helical blade; water hyacinth shredding machine; water hyacinth cutting drum; water hyacinth treatment.

**ĐẶT VẤN ĐỀ**

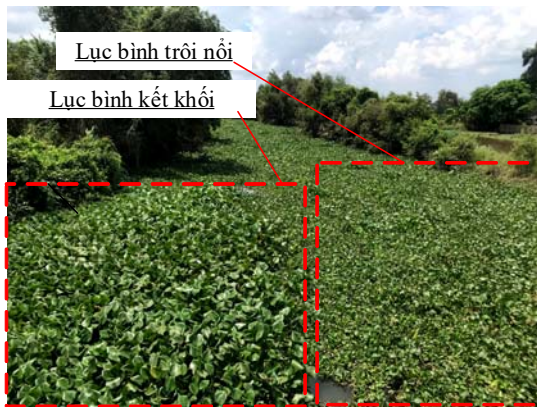
Lục bình (*Eichhornia crassipes*) là loài thực vật thủy sinh ngoại lai xâm hại có tốc độ sinh trưởng cực nhanh. Lục bình dễ dàng phát triển và tạo thành các mảng kết khối lớn che kín mặt nước, làm suy giảm nghiêm trọng hệ sinh thái và cản trở giao thông thủy [1, 2]. Đặc biệt tại hệ thống sông Vàm Cỏ Đông,

Vàm Cỏ Tây và các kênh rạch thuộc tỉnh Tây Ninh[3], sự bùng phát của lục bình đang là một vấn đề quan trọng cần được giải quyết[4]. Hàng năm có hàng triệu mét vuông mặt nước bị lục bình bao phủ dày đặc, gây ách tắc dòng chảy, cản trở lưu thông hàng hóa và làm tăng chi phí trục vớt, khơi thông. [4, 5].

<sup>1</sup> Trường Đại học Công nghệ Kỹ thuật TP.HCM, Việt Nam

<sup>2</sup> Công ty TNHH MTV Đón Xà Lan Nguyễn Hồng, tỉnh Tây Ninh, Việt Nam

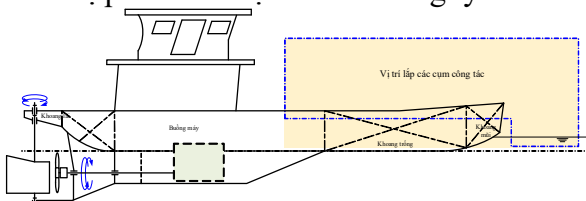
\*Tác giả liên hệ (Corresponding author): Nguyen Cong Nguyen (email: [victor.ncnguyen@gmail.com](mailto:victor.ncnguyen@gmail.com))



**Hình 1.** Luc bình kết khối trên các hệ thống sông, kênh rạch tại Tây Ninh.

Trước thực trạng các giải pháp vớt thủ công hay cơ giới truyền thống bị quá tải và không thể theo kịp tốc độ sinh sôi của sinh khối, việc nghiên cứu phát triển một hệ thống cơ cấu chuyên dụng, có động lực học mạnh mẽ nhằm cắt phá trực tiếp các khối lục bình ngay trên mặt nước là một nhu cầu cấp thiết [3] nhằm đáp ứng yêu cầu kỹ thuật về nâng cao năng suất xử lý và tiết kiệm năng lượng.

Đối tượng nghiên cứu là máy băm phá lục bình MPLB-01 có cấu tạo bao gồm một hệ thống phao nổi có khả năng tự hành và được bố trí một cụm chức năng chuyên biệt thực hiện băm phá các mảng lục bình kết khối trên mặt nước (Hình 2) ứng dụng hoạt động trong địa bàn tỉnh Tây Ninh và các khu vực lân cận. Thực tiễn đòi hỏi một giải pháp vừa bảo đảm năng suất và hiệu quả băm phá các mảng lục bình dày đặc, vừa duy trì tính ổn định khi vận hành, đồng thời có thể tích hợp trực tiếp với thiết bị phao nổi hiện có của công ty.

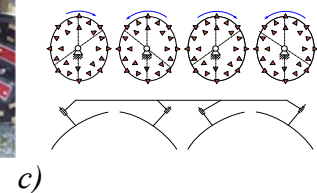
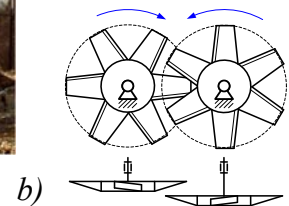
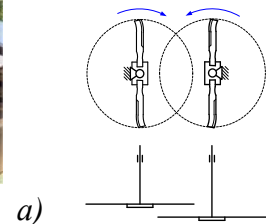


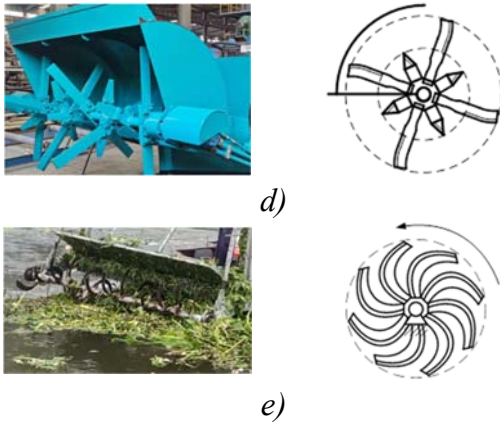
**Hình 2.** Mô tả bố trí các cụm chức năng của máy băm phá lục bình MPLB-01 hiện có tại công ty Nguyễn Hồng, Tây Ninh.

Quá trình tiên xử lý và cắt phá lục bình gặp nhiều thách thức kỹ thuật do đặc tính cơ lý phức tạp với khả năng phát triển thành các

mảng dày đặc với hệ thân và rễ xơ sợi đan xen, tạo nên kết cấu liên kết phức tạp [6]. Các khảo sát thực tiễn cho thấy thảm lục bình có mật độ rất cao (khoảng  $25 \text{ kg/m}^2$ ), khối lượng riêng lớn, độ ẩm trong khoảng 90% và có lẫn nhiều tạp chất bùn đất [4]. Quá trình vận hành trên mặt nước thiếu ngàm giữ cố định đóng vai trò như tấm kê theo nguyên lý cắt thái[7] đòi hỏi thiết bị công tác phải có khả năng cắt đứt liên kết lục bình một cách dứt khoát, chống kẹt cuốn xơ sợi, đồng thời tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng và hạn chế tối đa các rung động truyền ngược lại thân tàu.

Hiện nay, các cụm công tác trên máy phá lục bình chủ yếu dùng dao cắt dạng đĩa hoặc dao thẳng lắp trên tang quay[4] như ở Hình 3. Tuy nhiên, khi sử dụng dao cắt thẳng, toàn bộ chiều dài lưỡi dao sẽ tiếp xúc và cắt lớp vật liệu cùng một lúc, tạo ra các lực cản cắt biến thiên đột ngột, gây ra tải trọng va đập theo chu kỳ lên hệ thống trục và gối đỡ [8, 9]. Điều này làm máy rung mạnh, tiêu hao năng lượng lớn, giảm tuổi thọ chi tiết máy và hệ truyền lực, đồng thời dễ gây mất cân bằng, cản trở thoát liệu và tăng lực cản di chuyển.





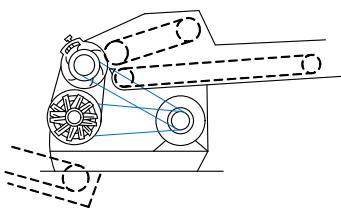
**Hình 3.** Mô tả phương án máy phá lục bình được ứng dụng hiện nay[4] của a) Thái Lan; b) Kelanchandra Precision Engineers; c) Aquatic Plant Navigation and Clean out Solutions; d) AceGC; e) Việt Nam.

Để giảm tải trọng va đập, nguyên lý cắt bằng lưỡi dao xoắn liên tục (helical blades) được xem là giải pháp phù hợp. Dạng dao này giúp quá trình cắt diễn ra liên tục, tịnh tiến dọc theo chiều dài trục, đồng thời duy trì diện tích tiếp xúc cắt ở mức tối thiểu và ổn định [8, 10]. Nguyên lý này đã được chứng minh hiệu quả trên nhiều thiết bị băm thái thức ăn gia súc, điển hình là máy Volgar-5 (IKV-5A) sử dụng cụm dao trống xoắn, cho năng suất cao, vận hành êm và lực cản cắt nhỏ [10-12].

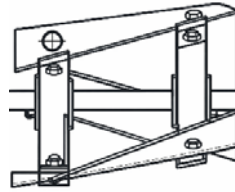
Đặc điểm của của phương án dao trống xoắn:

- Dạng chuyển động: Quay;
- Dạng bề mặt: Trống (trụ);
- Dạng cắt thái: Cắt nghiêng.

Kết cấu dao trống xoắn giúp quá trình cắt diễn ra liên tục, phân bố lực cắt đều theo đường xoắn, nhờ đó giảm tải tập trung và hạn chế quá tải cục bộ. Đặc điểm này phù hợp với lục bình có tính xơ, dai, độ ẩm cao, đồng thời hạn chế quần bám rác và xơ sợi, giảm nguy cơ tắc nghẽn và tăng khả năng làm việc liên tục.



a)



b)

**Hình 4.** Mô tả a) cấu tạo mẫu máy Volgar-5[12] và b) trống dao xoắn của máy Volgar-5.

Khi tích hợp lên tàu, trống dao vận hành theo nguyên lý cắt va đập, va chạm trực tiếp vào lục bình mà không có điểm tựa cố định. Ở nguyên lý này, lực cản cắt được cung cấp hoàn toàn bởi chính quán tính của vật liệu (cây lục bình) để tạo ra lực cản cắt trước khi cây kịp uốn cong hay xô dịch kết hợp với lực cản của môi trường nước, lực cản này chống lại lực ép của dao, giúp cắt đứt mà không làm cả mảng lục bình bị chìm hay trượt đi.

Sơ đồ phân loại các cơ cấu (bộ phận) cắt thái

Dạng chuyển động	Dạng bề mặt	Dạng cắt thái (theo lý thuyết cắt thái)		
		Chặt bó	Cắt nghiêng	Cắt trượt
Quay	Phẳng	1	2	3
	Trống (trụ)	4	5	6
Tịnh tiến qua lại	Phẳng	7	8	9
	Trống	10	11	12
Dao động	Phẳng	13	14	15
	Phẳng	16	17	18

**Hình 5.** Bảng lựa chọn nguyên lý cắt cho máy băm phá lục bình[11].

Tuy nhiên, để đạt được hiệu quả cắt liên tục và đồng đều, dao trống xoắn đòi hỏi biên dạng xoắn đòi hỏi quá trình chế tạo và gia công loại dao này tương đối khó khăn.

**Bảng 1.** Thông số đầu vào thiết kế cho cụm trồng dao xoắn liên tục[4].

TT	Thông số	Giá trị
1	Mật độ lực bình ( $q_{lb}$ ), ( $kg/m^2$ )	25
2	Chiều cao dòng vật liệu ( $a$ ), ( $mm$ )	250
3	Khối lượng riêng ( $\gamma_t$ ), ( $kg/m^3$ )	49
4	Độ ẩm, (%)	90
5	Áp suất cắt thái riêng, ( $N/cm$ )	36
6	Tốc độ di chuyển ( $km/h$ )	Chạy không
7		Cắt phá
8	Kích thước lực bình dự kiến sau cắt phá, ( $mm$ )	100
9	Vận tốc dòng chảy, ( $m/s$ )	0,1 ÷ 0,5
10	Cao trình đáy, ( $m$ )	-3
11	Độ thông thủy, ( $m$ )	1,9
12	Chiều rộng đáy, ( $m$ )	10

Do đó, bài báo tập trung vào nghiên cứu tiến hành tính toán các thông số hình học, động học nhằm xác định bộ thông số kỹ thuật của máy, qua đó kiểm chứng khả năng giảm thiểu năng lượng tiêu hao và triệt tiêu rung

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Cách tiếp cận:

- Tiếp cận thực tế một số thiết bị thiết bị vớt lực bình hiện có ở trong nước;
- Tiếp cận thông qua tài liệu như sách, báo, catalogue, internet.
- Tiếp cận hệ thống kỹ thuật theo các chức năng để phân tích thiết bị cắt vớt thành từng bộ phận chức năng phục vụ quá trình đo đạc và xử lý số liệu phục vụ công tác thiết kế máy.
- Tiếp cận các phương pháp đo lường các giá trị cơ tính của lực bình.

## 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÌNH LUẬN

### 3.1. Tính toán thiết kế thông số kỹ thuật trồng dao cắt phá

Trên hình bên dưới trình bày sơ đồ khai triển của trồng dao xoắn. Dạng lưỡi dao khi làm việc là đường xoắn và khi ở thể khai triển là đường thẳng.

Vận tốc tịnh tiến  $v$  của dao có thể phân tích làm hai phần: pháp tuyến  $v_n$  và tiếp tuyến  $v_t$  với lưỡi dao. Góc hợp bởi thành phần pháp tuyến  $v_n$  với vận tốc là góc trượt  $\tau$ . Góc hợp bởi lưỡi dao (đã khai triển) với mặt nước

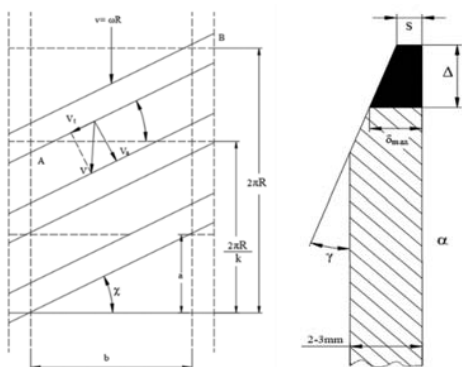
động so với các hệ thống dao cắt truyền thống. Đồng thời, xây dựng cơ sở lý thuyết để khai triển hình học hệ dao xoắn từ phối phẳng.

- Tiếp cận lý thuyết tính toán các bộ phận cắt và vận chuyển lực bình.

Phương pháp tiến hành:

- Áp dụng lý thuyết tính toán của từng bộ môn khoa học chuyên ngành theo chức năng đã phân tách để tính toán thiết kế.
- Áp dụng tính toán lý thuyết kết hợp với phương pháp mô hình hóa hệ thống kỹ thuật để tạo nên thiết kế thiết bị.
- Áp dụng phương pháp tính toán thiết kế ngược để cho ra thiết bị vận hành phù hợp với yêu cầu thực tiễn.

(song song với đường sinh của trồng) chính là góc kẹp  $\chi$  [13].



a) Sơ đồ khai triển của trống lắp dao xoắn[13]; b) Mô tả cạnh sắc của lưỡi dao.

Dưới đây là cơ sở tính toán các thông số kỹ thuật của trống dao băm phá lực bình[11-13]:

- Góc trượt ( $^{\circ}$ ):  

$$\tau = \chi - \zeta \quad (1)$$

- Hệ số trượt:  

$$\varepsilon = \tan \tau \quad (2)$$

- Lực cản cắt thái ( $N$ ):  

$$P_t = 75 \times 10^{-0,0019} \times q \times v^{2,6} + 40 \quad (3)$$

- Lực cắt thái tới hạn cần thiết ( $N$ ):  

$$Q_{th} = P_t + c \times \tan \sigma \quad (4)$$

- Bề rộng cắt phá ( $m$ ):  

$$B = Q' / (3,6 \times \rho \times v_r) \quad (5)$$

- Bán kính trống cắt dao cắt phá ( $m$ ):  

$$R = \frac{k \times (B' \times \varepsilon + a)}{2\pi} \quad (6)$$

- Số vòng quay làm việc (vòng/phút):  

$$n = \frac{v}{R \times (2\pi/60)} = \frac{30v}{R\pi} \quad (7)$$

- Năng suất cắt phá tính toán ( $T/h$ ):  

$$Q = 3,6 \times v_r \times B \times q_{lb} \quad (8)$$

- Góc quay của dao ứng với mỗi dao thái xong một lần ( $rad$ ):

$$\Psi_r = \frac{2\pi R + k \times a}{R \times k} \quad (9)$$

- Chiều cao vận hành của trống dao ( $m$ ):

$$h = a + R \times \frac{v_r}{v} \quad (10)$$

- Mômen cắt phá ( $Nm$ ):  

$$M_{cp} = q \times b \times R \quad (11)$$

- Công suất tính toán ( $W$ ):  

$$N_{tt} = 5 \times M_{cp} / 3 \times \omega \quad (12)$$

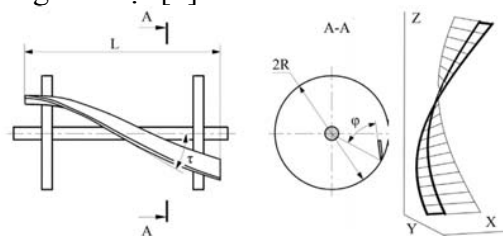
Trong đó:

- Áp suất riêng:  $q (N/cm)$ ;
- Năng suất cắt phá dự kiến:  $Q' (T/h)$ ;
- Chiều cao dòng vật liệu:  $a (mm)$ ;
- Vận tốc công tác của tàu:  $v_r (m/s)$ ;
- Hệ số trượt:  $\varepsilon$ ;
- Số dao:  $k$ ;
- Kích thước lục bình mong muốn khi cắt phá:  $l_p$ ;
- Khối lượng riêng lục bình:  $\gamma_t (kg/m^3)$ ;
- Bề rộng đoạn dao:  $b (mm)$ .

### 3.2. Nghiên cứu khai triển biên dạng trống dao xoắn phục vụ quá trình chế tạo

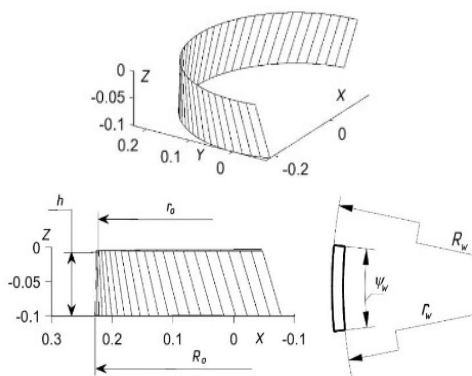
Quá trình chế tạo dao xoắn ốc cho các hệ thống băm cắt thường gặp trở ngại lớn do bề mặt làm việc của dao là dạng mặt xoắn ốc hở thẳng (straight open helicoid), vốn là một bề mặt không thể trải phẳng (non-developable)[8, 9]. Nếu áp dụng công nghệ uốn nguội từ phôi phẳng thông thường mà không tính toán chuẩn xác, phôi sẽ chịu biến dạng dẻo rất lớn, gây nứt vỡ và hao tổn năng lượng[8].

Để giải quyết vấn đề này, cơ sở khai triển biên dạng dao xoắn ốc đã được xây dựng dựa trên lý thuyết hình học vi phân, giúp tìm ra hình dáng phôi tối ưu: Phương pháp uốn mặt xoắn ốc hở thẳng thành mặt tròn xoay và xấp xỉ bằng nón cụt [9].



Hình 7. Minh họa về hình thái của dao xoắn được phát triển từ một bề mặt trải rộng[8].

Bằng cách giảm dần bước xoắn, bề mặt dao xoắn hở thẳng được uốn thành một mặt hyperboloid một vật tròn xoay. Bề mặt này sau đó được xấp xỉ bằng một hình nón cụt. Để khai triển hình nón cụt này thành một phôi phẳng (hình vành khăn), trước tiên cần xác định 3 kích thước không gian của nón cụt [9]:



**Hình 8.** Thiết diện của mặt hyperbolic tròn xoay khi thực hiện quá trình uốn lưỡi dao[9].

- Bán kính đáy lớn (mm):

$$R_0 = \frac{R \times \sin \varphi \times \sin \tau}{\sqrt{\sin^2 \varphi + \cot^2 \tau}} \quad (13)$$

- Bán kính đáy nhỏ (mm):

$$r_0 = \sin \varphi \sqrt{\frac{R^2 + (u_0 - R \times \cos \varphi)^2}{\sin^2 \varphi + \cot^2 \tau}} \quad (14)$$

- Chiều cao của nón cụt (mm):

$$h = b \times \frac{\cot \tau}{\sqrt{\sin^2 \varphi + \cot^2 \tau}} \quad (15)$$

Trong đó:

- Góc tạo bởi tiết diện của dao (rad):

$\varphi$ .

Sau khi có được kích thước nón cụt, các thông số của phôi phẳng (vành khăn) được xác định qua các công thức khai triển[9]:

- Bán kính cung ngoài của phôi (mm):

$$R_w = R_0 \times \frac{\sqrt{(R_0 - r_0)^2 + h^2}}{R_0 - r_0} \quad (16)$$

- Bán kính cung trong của phôi (mm):

$$r_w = r_0 \times \frac{\sqrt{(R_0 - r_0)^2 + h^2}}{R_0 - r_0} \quad (15)$$

- Góc ở tâm của phôi:

$$\psi_w = \frac{L}{R_0 \times \cos \tau} \quad (16)$$

### 3.3. Kết quả tính toán thiết kế cụm dao xoắn liên tục trên máy phá lực bình

Dựa trên cơ sở tính toán và phương pháp thiết kế và các thông số đầu vào, cụm dao xoắn liên tục trên máy phá lực bình được tính toán và mô hình hóa với các kết quả bên dưới:

**Bảng 2.** Bảng thông số tính toán cụm dao xoắn liên tục của máy phá lực bình.

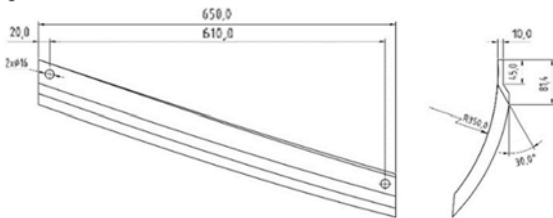
STT	Thông số	Giá trị
1	Góc mài dao, $\sigma$ (°)	35°
2	Góc xoắn lưỡi dao, $\zeta$ (°)	70°
3	Góc trượt, $\tau$ (°)	20°
4	Vận tốc cắt phá, $v$ (m/s)	12
5	Lực cắt thái tối hạn, $Q_{th}$ (N)	188,9
6	Bề rộng cắt phá, $B$ (mm)	2600
7	Bán kính trống dao, $R$ (mm)	375
8	Số vòng quay, $n$ (vg/ph)	306
9	Chiều cao vận hành, $h$ (mm)	284
10	Năng suất cắt phá, $Q$ (T/h)	245
11	Momen cắt phá, $M_{cp}$ (Nm)	731,3
12	Công suất tính toán, $N_{tt}$ (HP)	52,3
13	Độ dài cây lực bình sau khi cắt phá, $l_s$ (mm)	108
14	Số cánh dao, $k$	2

Trong đó, các thông số hình học dao như góc mài dao  $\sigma$ (35°), góc xoắn lưỡi dao  $\zeta$ (70°) được lựa chọn dựa theo nguyên mẫu máy Volgar-5[11], từ đó làm cơ sở để áp dụng vào hệ thống dao cắt lực bình, việc tinh chỉnh để tìm ra bộ thông số hình học phù hợp với điều kiện làm việc sẽ được đặt làm mục

tiêu cho các nghiên cứu trong tương lai.

Kết quả này hỗ trợ quan trọng trong việc lựa chọn nguồn động lực phù hợp cho cụm máy, đảm bảo hiệu suất và độ bền của thiết bị cắt phá ở điều kiện thực tế vận hành thiết bị trong thời gian dài ở các khu vực có độ mặn và độ phèn cao như Tây Ninh và các khu vực lân cận. Trên cơ sở đó, sẽ tiến hành chế tạo

thử nghiệm thực tế để minh chứng khả năng hoạt động của tổ hợp trong môi trường thực nghiệm so với tính toán thiết kế.



**Hình 9.** Mô tả kỹ thuật về biên dạng dao xoắn của máy phá lục bình MPLB-01.

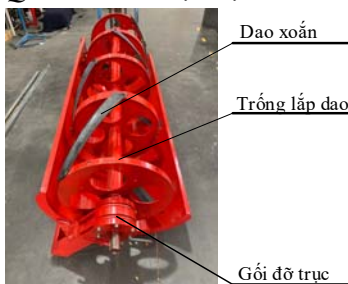
**3.4. Kết quả chế tạo và kiểm nghiệm vận hành sơ bộ cụm dao xoắn liên tục**

Trên cơ sở kết quả tính toán thiết kế, việc thực hiện chế tạo lắp ráp cụm dao xoắn liên tục trên mô hình bể lục bình thử nghiệm như trình bày ở Hình 10 và Hình 11. Căn cứ vào điều kiện làm việc thực tế và yêu cầu về độ bền của cụm dao băm phá, quá trình chế tạo lưỡi dao được thực hiện với các đặc tính cơ bản sau:

- Chọn vật liệu: Thép C45;
- Phương pháp nhiệt luyện: Tôi thường hóa;
- Màitinh lưỡi dao sau gia công.



**Hình 10.** Quá trình chế tạo cụm dao xoắn liên tục.

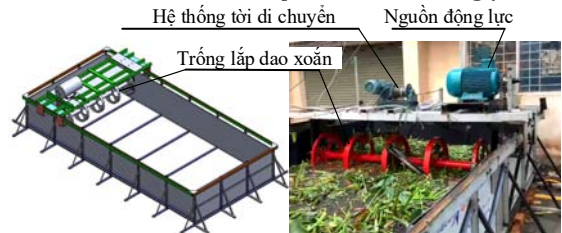


**Hình 11.** Cấu tạo trống dao xoắn sau khi chế tạo.

Nhóm nghiên cứu chế tạo bộ khung thử nghiệm và bể thử phục vụ đánh giá quá trình băm phá lục bình trong điều kiện có kiểm soát. Hệ thống này bao gồm một cụm trống

dao xoắn, được dẫn động bằng sự kết hợp giữa hệ thống truyền động xích và động cơ điện. Bộ trống cắt phá này được dẫn hướng dọc theo bể chứa lục bình bằng một hệ thống cáp. Với các thông số kỹ thuật:

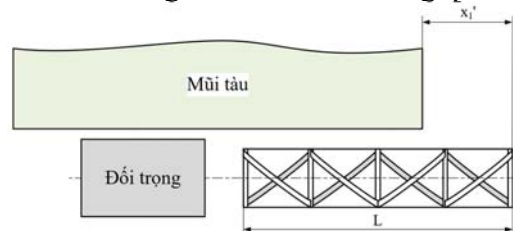
- Số vòng quay trống dao cắt phá:  $n = 100 \div 400 \text{ vòng/phút}$ ;
- Vận tốc tiến:  $v = 0,5 \div 1,5 \text{ m/s}$ ;
- Mật độ lục bình:  $q = 10 \div 25 \text{ kg/m}^2$ .



**Hình 12.** Mô hình thử nghiệm bể cắt phá lục bình.

Qua quá trình thực nghiệm và đánh giá sơ bộ tại bể thử, cụm trống dao xoắn liên tục đã thể hiện hiệu suất vận hành cực kỳ ổn định. Cụ thể, thiết bị đạt hiệu quả cắt cao và ổn định ở dải tốc độ quay từ  $300 \div 350 \text{ vòng/phút}$ , cho khả năng cắt phá lục bình với kích thước lục bình đầu ra  $< 10 \text{ cm}$ .

Hệ thống có thể thực hiện cắt phá lục bình trực tiếp trên mặt nước để ngay cả với những mảng lục bình có mật độ cao ( $25 \text{ kg/m}^2$ ). Khi thay đổi các chế độ làm việc và cấu hình khác nhau, biên dạng xoắn của lưỡi dao đã tạo ra các luồng dòng chảy theo chiều xoắn của dao, giúp tự động cuốn hút vật liệu vào họng cắt. Ghi nhận trong quá trình thử nghiệm cho thấy, thiết bị vận hành êm ái, triệt tiêu phần lớn các xung lực va đập, nhờ đó hệ thống duy trì được trạng thái làm việc bền bỉ và hầu như không xuất hiện tình trạng quá tải.



**Hình 13.** Sơ đồ bố trí thử nghiệm cắt phá lắp đặt trên phao nổi.

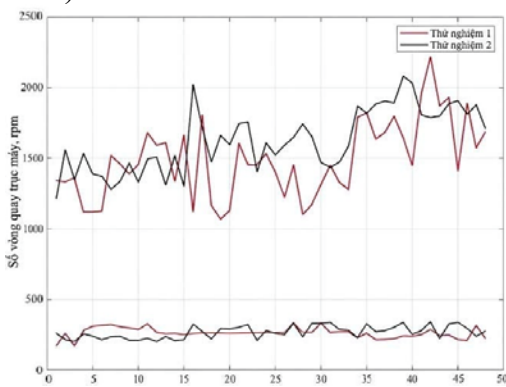
Thực tế quá trình chế tạo, hiệu chỉnh, nhóm nghiên cứu đã thực hiện thử nghiệm cắt phá lục bình trên sông Vàm Cỏ Tây, tỉnh Tây

Nhìn nhằm đánh giá hiệu quả vận hành của thiết bị bố trí theo sơ đồ Hình 13.



Hình 14. Mô hình thực nghiệm lắp đặt trên phao nổi.

Quá trình thử nghiệm thực tế tổ hợp máy phá lục bình được tiến hành trên luồng sông đạt vận tốc di chuyển trung bình ở mức 1,8 km/h và có thể đạt tốc độ tối đa lên đến 9,6 km/h tại các phân đoạn luồng tuyến thông thoáng với tổng chiều dài hành trình thử nghiệm là 2,8 km. Dữ liệu thu thập từ hệ thống đo lường cho thấy, động cơ dẫn động làm việc ổn định trong dải tốc độ từ 1200 ÷ 1800 vòng/phút. Đặc tính động lực học của hệ thống truyền động được thể hiện rõ qua sự biến thiên đồng bộ giữa số vòng quay trên trục động cơ và tốc độ quay của trống dao cắt (Hình 15).



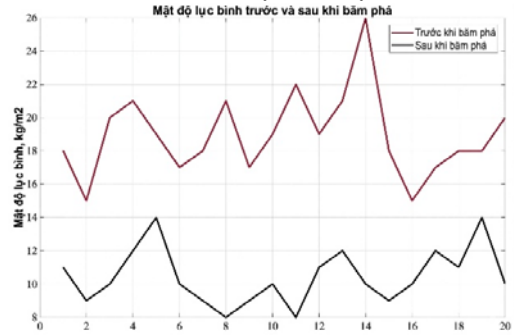
Hình 15. Thông số vòng quay trên động cơ và trống dao cắt.

Đánh giá về hiệu quả công tác, cụm lưỡi dao trống xoắn liên tục đã vận hành ổn định,

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày quá trình nghiên cứu

tạo ra những vết cắt ngọt, dứt khoát. Hiệu năng băm phá sơ cấp được thể hiện qua chênh lệch về mật độ lục bình trên mặt nước trước và sau khi thiết bị đi qua ( $< 14 \text{ kg/m}^2$ ), được biểu diễn chi tiết tại đồ thị Hình 16.



Hình 16. Biểu đồ mật độ lục bình trước và sau khi băm phá.

Thông qua quá trình thực nghiệm cắt phá lục bình trên mặt nước, nhóm nghiên cứu đã rút ra một số nhận định sau:

- Vận tốc cắt phá đạt mức 12 m/s hoàn toàn đủ để trống dao thực hiện việc chia cắt các mảng, khối lục bình kết khối. Khi tăng vận tốc cắt lên cao hơn, lục bình có thể được băm nhỏ hơn, tuy nhiên đi kèm với đó là các hiện tượng rung lắc gia tăng và tiêu tốn nhiều nhiên liệu hơn đáng kể. Trong khi trống dao thường xuyên làm việc trong môi trường ẩm ướt, có bùn, cát, việc vận hành ở tốc độ  $> 30 \text{ m/s}$  gây mài mòn lưỡi dao rất nhanh, làm giảm tuổi thọ thiết bị.

- Ngoài ra, vận hành trên mặt nước với tốc độ cao sinh ra các lực cản thủy động lực học phức tạp, làm biến thiên tần số riêng của hệ thống, gây mất ổn định và rủi ro quá tải. Hơn nữa, các mảng lục bình trong thực tế thường lẫn nhiều dị vật cứng (cành cây, rác thải nhựa). Ở vận tốc 12 m/s, xung lực va đập nhỏ giúp dao dễ dàng cắt đứt hoặc lướt qua dị vật. Ngược lại, ở dải tốc độ  $> 30 \text{ m/s}$ , xung lực lớn sẽ gây ra hiện tượng văng ngược, tạo mô-men giạt cục và truyền chấn động mạnh lên toàn bộ khung máy.

Về tính kinh tế, mức tiêu hao nhiên liệu tổng cộng sau khi hoàn thành chu trình thử nghiệm hỗn hợp được ghi nhận là 14 lít.

và phát triển cụm dao xoắn liên tục trên máy phá lục bình, bao gồm các cơ sở tính toán,

phương pháp thiết kế và thử nghiệm thực tế. Kết quả thử nghiệm ban đầu cho thấy thiết bị hoạt động hiệu quả và ổn định, với công suất thực tế phù hợp với các lý thuyết tính toán. Việc xác định các thông số kỹ thuật đã hỗ trợ quan trọng trong việc lựa chọn nguồn động

**Lời cảm ơn**

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ Đề tài “Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ sản xuất thử nghiệm và chuyên giao hệ máy xử lý lục bình trong kênh, rạch và sông Vàm Cỏ và các vùng lân cận”, mã số:

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. A. Villamagna and B. Murphy, "Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review," *Freshwater biology*, vol. 55, no. 2, 2010.
2. A. Malik, "Environmental challenge vis a vis opportunity: the case of water hyacinth," *Environment international*, vol. 33, no. 1, pp. 122-138, 2007.
3. "Báo cáo - Công Tác Xử Lý Lục Bình trên Sông Vàm Cỏ Đông," Số: 77/BC-SGTVT, UBND tỉnh Tây Ninh - Sở GTVT, 2021.
4. N. T. Tiên, "Báo cáo tổng kết - Đề tài Nghiên cứu thiết kế và chế tạo tổ hợp thiết bị thu gom, tiền xử lý và trục vớt lục bình trên kênh, rạch tại Long An và các tỉnh lân cận, mã số: ĐTDL.CN-26/21," Đề tài KHCN cấp nhà nước - Cơ quan chủ trì: Trường Đại học Bách Khoa tp. Hồ Chí Minh, Đại học Quốc gia tp.HCM, tỉnh Long An, 2024.
5. J. Vymazal, "Constructed wetlands, subsurface flow," *Applications in Ecological Engineering*, vol. 151, 2009.
6. N. Dechassa and B. Abate, "Current status of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) in Ethiopia: achievements, challenges and prospects: a review," *J. Environ. Earth Sci*, vol. 10, no. 12, pp. 1-13, 2020.
7. N. N. Nam and T. T. Thanh, *Máy gia công nông sản - thực phẩm*. TP. Hồ Chí

lực phù hợp. Hệ thống được đề xuất không chỉ đáp ứng được yêu cầu kỹ thuật mà còn có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong việc quản lý và xử lý lục bình tại các kênh rạch ở Đồng Bằng Sông Cửu Long nói chung.

ĐTCNCT.02/26. Chúng tôi xin cảm ơn Công ty TNHH MTV Đóng xà Lan Nguyên Hồng đã tạo điều kiện để thực hiện khảo nghiệm thu thập số liệu và cơ sở vật chất nhân công để thực hiện phục vụ cho các quá trình triển khai nghiên cứu..

*Minh*: Nhà xuất bản Giáo Dục, 2000.

8. S. Pylypaka et al., "Designing a helical knife for a shredding drum using a sweep surface," *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 130, no. 1, 2024.
9. A. Nesvidomin, S. Pylypaka, T. Volina, M. Lokhonia, and Y. Borodai, "Forming helical blades from flat blanks with minimal deformation," *Machinery & Energetics*, vol. 16, no. 3, 2025.
10. И. Федоренко, *Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов*. Moscow: ФОРУМ / ИНФРА-М, 2020.
11. С. Мельников, *Механизация и автоматизация животноводческих ферм* (Л.: Колос). Колос, 1978.
12. К. Д. Ф., Н. С. И., К. С. А., and et al., *Машины и оборудование в животноводстве*. Минск, Беларусь: РИПО, 2020.
13. T. M. Vượng and N. T. M. Thuận, *Máy phục vụ chăn nuôi*. Hà Nội: NXB Giáo Dục, 1999.
14. Đ. V. Điện and N. Bàng, *Lý Thuyết và Tính Toán Máy Nông Nghiệp*. TP. Hồ Chí Minh: Trường Đại học Nông Lâm 1986.
15. Đ. Q. Triệu, *Giáo Trình - Động Lực Học Máy Thu Hoạch*. Hà Nội: NXB Nông Nghiệp, 2002

- Ngày gửi bài: 28/05/2026  
 - Ngày phản biện: 05/06/2026  
 - Ngày duyệt đăng: 06/06/2026

NGHIÊN CỨU, ĐỀ XUẤT HƯỚNG PHÁT TRIỂN CÁC GIẢI PHÁP HỖ TRỢ  
TÁI CHẾ CHẤT THẢI DỆT MAY

Tạ Hanh<sup>1</sup>

**TÓM TẮT**

Sự bùng nổ của thời trang gây áp lực lớn lên môi trường do lượng chất thải dệt may khổng lồ và tỷ lệ tái chế thấp. Trong bối cảnh đó, tái chế cơ học nổi lên như giải pháp tối ưu nhờ chi phí thấp và quy trình tinh giản. Tuy nhiên, thách thức lớn nhất hiện nay là việc bảo tồn đặc tính lý hóa của xơ tái chế. Bài báo xác định các yếu tố then chốt để nâng cao hiệu suất bao gồm: cải tiến kỹ thuật tiền xử lý, ứng dụng phân loại tự động và tối ưu hóa cơ chế nghiền cắt, mở xơ. Đây là nền tảng quan trọng để thúc đẩy kinh tế tuần hoàn trong ngành dệt may.

**Từ khóa:** Chất thải dệt may, Tính bền vững, Tái chế cơ học

RESEARCH AND PROPOSALS FOR DEVELOPING SOLUTIONS TO SUPPORT  
TEXTILE WASTE RECYCLING

**ABSTRACT:**

The "fast fashion" boom has surged global textile consumption, yet recycled fiber shares remain record low, causing severe environmental strain on landfills. Consequently, developing scalable recycling solutions is imperative for a circular economy. Among existing technologies, mechanical recycling stands out due to its cost-efficiency and streamlined processes. However, preserving the fiber's physicochemical properties remains a major challenge. This paper analyzes current research bottlenecks, emphasizing that advanced pre-treatment, automated sorting, and optimizing shredding and opening mechanisms are crucial. Understanding these structural variables is the foundation for enhancing the value and performance of recycled textile products.

**Key word:** Mechanical recycling, Sustainability, Textile waste.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Sự tăng trưởng của thị trường thời trang đã đẩy nhu cầu dệt may toàn cầu tăng đột biến. Năm 2023, sản lượng xơ thế giới đạt 124 triệu tấn và dự báo chạm mốc 160 triệu tấn vào năm 2030. Đáng quan ngại, cơ cấu thị trường đang chứng kiến sự thống trị của xơ nhân tạo (chiếm 70%) – loại vật liệu phụ thuộc nặng nề vào nhiên liệu hóa thạch, trong khi các dòng xơ bền vững và xơ tự nhiên có xu hướng sụt giảm tỷ trọng. Ngay cả với xơ tự nhiên như bông, quy trình canh tác vẫn gây áp lực cực đoan lên tài nguyên nước (20.000 lít/1kg bông hạt).

Hệ quả tất yếu của chu kỳ tiêu thụ ngắn là khối lượng chất thải dệt may khổng lồ phát sinh mỗi năm. Tại các thị trường điển hình như Hoa Kỳ, Trung Quốc, Ấn Độ ... báo cáo của EPA cho thấy phần lớn chất thải dệt may (triệu tấn phát sinh), gây ra các thảm họa sinh thái như phát thải khí nhà kính, rò rỉ hóa chất và phát tán vi nhựa. Dù tiềm năng kinh tế và

môi trường của việc tái chế là rất lớn (tiết kiệm 45 USD/tấn chi phí xử lý và giảm tương đương khí thải của 550.000 ô tô mỗi năm), nhưng thực tế chỉ có khoảng 1% tổng sản lượng xơ được thu hồi từ nguồn tái chế.

Về mặt công nghệ, tái chế cơ học hiện nổi lên là giải pháp khả thi nhất nhờ ưu thế về chi phí vận hành, vốn đầu tư thấp và quy trình tinh giản, không sử dụng dung môi độc hại. Tuy nhiên, phương pháp này đang đối mặt với "nút thắt" kỹ thuật lớn: hiện tượng suy giảm cơ tính và chiều dài xơ do ứng suất vật lý trong quá trình xé, dẫn đến hệ quả (tái chế xuống cấp).

Do đó, việc tối ưu hóa các thông số công nghệ, làm rõ cơ chế tương tác lý học giữa thiết bị và vật liệu là yêu cầu cấp bách. Bài báo này tập trung phân tích các thành tựu hiện hữu và nhận diện rào cản kỹ thuật để đề xuất lộ trình bảo toàn đặc tính xơ, hướng tới hiện thực hóa mô hình kinh tế tuần hoàn bền vững cho ngành công nghệ may mặc.

<sup>1</sup>Đại học Công Nghiệp và Thương Mại Hà Nội

## 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Điểm khác biệt của nghiên cứu này chính là sự tập trung chuyên biệt vào chuỗi giá trị thu hồi xơ tái chế – một phân khúc thường bị xem nhẹ trong một số nghiên cứu. Nghiên cứu thực hiện đánh giá nghiêm ngặt các rào cản kỹ thuật và các giải pháp đột phá trong quy trình thu hồi xơ thông qua tác động vật lý, từ đó xác định các khoảng trống lập luận và định hình lộ trình nghiên cứu cho lĩnh vực này.

Các tài liệu tham khảo được sàng lọc, chuẩn hóa qua 03 giai đoạn:

1. Sàng lọc sơ bộ: Đánh giá tiêu đề dựa trên mức độ tương quan với công nghiệp tái chế cơ học.

## 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Tổng quan và các thách thức trong tái chế cơ học dệt may

#### 3.1.1. Phân loại các phương thức tái chế dệt may

Hệ thống tái chế dệt may được phân tầng dựa trên mức độ phân rã cấu trúc vật liệu thành 04 phân khúc chính: Tái chế vải, xơ, polyme và monome.

- Tái chế vải: Bảo tồn nguyên trạng cấu trúc dệt, chủ yếu thông qua phân loại và tái thiết kế. Dù hiệu quả kinh tế cao nhưng phương pháp này hạn chế về tính nhất quán và tiêu chuẩn chất lượng sản phẩm đầu ra.

- Tái chế xơ: Đây là trọng tâm của ngành công nghiệp hiện đại, sử dụng các tác động cơ học để phá vỡ cấu trúc vải/sợi thành trạng thái xơ rời nhưng vẫn bảo tồn được bản chất polyme.

- Tái chế Polyme & Monome: Sử dụng các tác động nhiệt-cơ hoặc hóa học sâu để phá vỡ liên kết phân tử. Mặc dù cho phép thu hồi vật liệu có độ tinh khiết cao, nhưng các phương pháp này đòi hỏi chi phí đầu tư hạ tầng lớn và tiêu thụ năng lượng đáng kể [1].

#### 3.1.2. Quy trình công nghệ và tính tương thích của vật liệu

Dây chuyền tái chế cơ học tiêu chuẩn bao gồm các công đoạn: Xử lý sơ bộ → Phân loại → Nghiên cứu → Mở xơ/Xé xơ. Hiệu suất

2. Rà soát tóm tắt: Định vị các nghiên cứu tập trung vào khía cạnh kỹ thuật xử lý xơ.

3. Phân tích nội dung toàn văn: Tuyển chọn các dữ liệu thực nghiệm để đưa vào báo cáo cuối cùng.

Ngoài ra, phương pháp theo dõi tài liệu tham khảo chéo và việc tích hợp các báo cáo thị trường từ những tổ chức uy tín đã được thực hiện để đảm bảo tính thực tiễn của nghiên cứu. Các khía cạnh về kỹ thuật kéo sợi, phân tích kinh tế lượng và đánh giá vòng đời môi trường được coi là nằm ngoài phạm vi hẹp của bài báo này nhằm tập trung tối đa vào cơ chế thu hồi xơ cơ học.

vận hành của các dây chuyền công nghiệp hiện nay có thể đạt từ 50 kg/h đến 3000 kg/h [2].

Tính tương thích của vật liệu là một biến số quan trọng. Công nghệ này đạt hiệu quả tối ưu trên các xơ tự nhiên như Bông (Cotton), Len (Wool) và một số xơ tổng hợp như Acrylic nhờ khả năng bảo tồn cấu trúc sau khi chịu lực xé. Ngược lại, việc tái chế cơ học các loại xơ tổng hợp bền dai như Nylon gặp nhiều rào cản do:

- Kinh tế: Chi phí thu gom và xử lý cơ học hiện cao hơn chi phí sản xuất xơ nguyên sinh từ dầu mỏ [2].

- Kỹ thuật: Bản chất hóa lý của xơ tổng hợp thường phù hợp hơn với phương pháp tái chế nhiệt (nấu chảy) hoặc hóa học để đạt được đặc tính xơ tái chế tương đương xơ nguyên sinh (vòng lặp kín).

Tuy nhiên, trước sự thống trị của sợi tổng hợp trên thị trường, việc đổi mới các thông số kỹ thuật trong máy xé để giảm thiểu hiện tượng "tái chế xuống cấp" cho các loại xơ như Polyester đang trở thành ưu tiên nghiên cứu hàng đầu nhằm cải thiện tính khả thi về cả môi trường lẫn kinh tế.

### 3.2. Phân tích nguyên liệu đầu vào trong quy trình tái chế cơ học

Phân loại và nguồn gốc các dòng chất thải dệt may

**Bảng 1.** Hệ thống hóa nguồn gốc và đặc điểm lý tính của các dòng chất thải dệt may

Phân nhóm rác	Loại hình chất liệu cụ thể	Nguồn gốc phát sinh
<b>Hậu công nghiệp &amp; Trước tiêu dùng</b>	Xơ pha trộn, xơ chải, đầu sợi thô, xơ phế phẩm từ máy kéo sợi vòng.	Công đoạn Kéo sợi
	Vải vụn, đầu khúc vải, biên vải phế phẩm, hồ vải thừa.	Công đoạn Dệt
	Mẫu vải thử, vải lỗi sọc, vải rách, xơ dị hình (dày/mỏng).	Công đoạn Đan len
	Vải lỗi sắc độ (shading), nếp gấp vĩnh viễn, sai lệch hoàn tất.	Công đoạn Nhuộm
	Phế liệu cắt (cutting waste), sản phẩm lỗi may, in ấn, thêu.	Công đoạn May mặc
<b>Sau tiêu dùng</b>	Quần áo cũ, dệt gia dụng (chăn, ga), vải kỹ thuật, vải không dệt đã qua sử dụng.	Người tiêu dùng cuối cùng

Trong kinh tế tuần hoàn dệt may, việc nhận diện chính xác nguồn gốc chất thải là tiền đề quyết định hiệu suất thu hồi. Chất thải dệt may hiện nay được phân tầng thành ba nhóm chiến lược: Hậu công nghiệp, Trước tiêu dùng và Sau tiêu dùng.

**Chất thải hậu công nghiệp:** Bao gồm các phế liệu phát sinh trực tiếp từ quy trình sản xuất thượng nguồn (kéo sợi, dệt vải). Đây là nguồn nguyên liệu có độ tinh khiết cao nhất.

**Chất thải trước tiêu dùng:** Đề cập đến các sản phẩm may mặc thành phẩm nhưng chưa được đưa ra thị trường do lỗi kỹ thuật (QC), tồn kho dư thừa hoặc lỗi thiết kế.

**Chất thải sau tiêu dùng:** Bao gồm hàng may mặc và dệt dụng cụ đã qua sử dụng, thải bỏ từ hộ gia đình hoặc các khu vực dịch vụ (khách sạn, bệnh viện). Đây là dòng rác thải chiếm tỷ trọng lớn nhất nhưng cũng phức tạp nhất do sự đa dạng về thành phần sợi và mức độ nhiễm bẩn [1, 2, 6].

Dựa trên phân tích của Raluca (2023), Bảng 1 hệ thống hóa các dòng chất thải phát

sinh theo từng công đoạn cụ thể trong chuỗi cung ứng dệt may [4]:

**3.3. Tương quan giữa nguyên liệu đầu vào và hiệu suất thu hồi xơ**

Chiều dài xơ là thông số kỹ thuật cốt yếu định vị khả năng tái ứng dụng của vật liệu. Các nghiên cứu thực nghiệm chỉ ra rằng, cấu trúc và tình trạng của nguyên liệu đầu vào ảnh hưởng trực tiếp đến xác suất đứt gãy xơ trong quá trình xé cơ học.

Chất thải Trước tiêu dùng sở hữu ưu thế vượt trội về tính đồng nhất và độ sạch, cho phép quy trình xé đạt hiệu quả cao với mức độ hư tổn vật lý tối thiểu. Ngược lại, chất thải Sau tiêu dùng đối mặt với "nút thắt" về sự biến thiên trong hỗn hợp sợi, sự hiện diện của elastane và các phụ liệu (khóa, nút). Đặc biệt, sự suy giảm cơ tính tự nhiên của xơ sau quá trình sử dụng và giặt lâu ngày khiến xơ dễ bị đứt đoạn hơn khi chịu ứng suất cơ học.

Bảng 2 so sánh dữ liệu thực nghiệm về khả năng giữ chiều dài xơ của hai dòng chất thải chính [2]:

**Bảng 2.** So sánh chiều dài xơ thu hồi giữa các nguồn nguyên liệu tái chế

Loại xơ	Loại hình nguyên liệu đầu vào	Chiều dài xơ đầu ra (mm)
Bông	Phế liệu cắt từ xưởng may (Trước tiêu dùng)	6 – 21
	Đầu sợi/Sợi cứng (Trước tiêu dùng)	6 – 26
	Sợi thô, mép biên vải (Trước tiêu dùng)	6 – 21
	Vải Denim/Jean cũ (Sau tiêu dùng)	6 – 18
Len	Phế liệu cắt từ xưởng may (Trước tiêu dùng)	20 – 60

	Đầu sợi/Mép biên vải (Trước tiêu dùng)	20 – 60
	Sản phẩm len cũ (Sau tiêu dùng)	20 – 50

Từ dữ liệu trên, có thể thấy xơ bông tái chế từ nguồn sau tiêu dùng (như Denim) thường ngắn hơn đáng kể so với nguồn trước tiêu dùng. Với xơ ngắn (thường <15mm), việc kéo lại sợi 100% tái chế gặp nhiều trở ngại về độ bền và độ xù lông. Do đó, các nghiên cứu tương lai cần tập trung vào việc tối ưu hóa công nghệ mở xơ nhẹ nhàng (gentle opening) và các phương pháp tiền xử lý hóa lý để làm giảm độ kết dính cấu trúc vải, giúp xơ được tách ra một cách nguyên vẹn hơn, từ đó nâng cao giá trị gia tăng cho các dòng rác thải sau tiêu dùng phức tạp.

### 3.4. Tiền xử lý: Giai đoạn quyết định sự bảo tồn lý tính xơ

Trong kỹ thuật tái chế cơ học, tiền xử lý không chỉ đơn thuần là làm sạch mà là một quá trình chuẩn bị cấu trúc chiến lược. Hiệu quả của giai đoạn này ảnh hưởng trực tiếp đến độ tinh khiết của nguyên liệu và khả năng bảo toàn chiều dài xơ ở các bước xử lý cường độ cao tiếp theo.

#### 3.4.1. Quy trình làm sạch và phân rã sơ bộ

Quy trình tiền xử lý trong môi trường công nghiệp bắt đầu bằng việc tháo kiện và loại bỏ các thành phần phi dệt may. Các dòng chất thải thường được vận chuyển dưới dạng kiện nén chặt, bọc nhựa hoặc buộc dây kim loại, đòi hỏi hệ thống tháo dỡ chuyên dụng để tránh gây hư hại thiết bị hạ nguồn [3].

Hệ thống xử lý hiện đại tích hợp các đơn vị tự động hóa bao gồm:

- Máy mở kiện và băng tải: Giải phóng vật liệu khỏi trạng thái nén.
- Hệ thống tách kim loại: Bảo vệ các tang trống răng cưa khỏi hư hỏng do khóa kéo, cúc áo hoặc dị vật kim loại.
- Vệ sinh công nghiệp: Sử dụng các tác nhân như chất tẩy rửa chuyên dụng, Ozone hoặc CO<sub>2</sub> lỏng để khử nhiễm các tạp chất hữu cơ (mồ hôi, dầu mỡ) và vô cơ (cát, bụi) mà không làm suy yếu liên kết phân tử của xơ.

#### 3.4.2. Giải pháp hóa lý trong bảo tồn chiều dài xơ

Một bước tiến đột phá trong nghiên cứu tiền xử lý là việc kiểm soát ma sát liên kết. Ma sát cao trong quá trình xé cơ học là nguyên nhân chính gây ra ứng suất nhiệt, làm nóng chảy xơ tổng hợp và gây đứt gãy xơ tự nhiên.

Việc ứng dụng các chất bôi trơn bề mặt, điển hình là Polyethylene Glycol (PEG 4000), trên các dòng vải pha Cotton-Polyester đã cho thấy những kết quả khả quan. Cơ chế của chất bôi trơn bao gồm:

1. Giảm độ kết dính (Cohesion reduction): Làm yếu các lực liên kết giữa các sợi trong cấu trúc dệt thoi/dệt kim.
2. Giảm ứng suất cắt: Cho phép các răng của máy mở xơ tách rời cấu trúc vải một cách "nhẹ nhàng" (gentle opening), từ đó giảm thiểu hiện tượng rút ngắn chiều dài xơ

Tuy nhiên, việc tích hợp chất bôi trơn vào quy trình quy mô lớn vẫn cần các nghiên cứu sâu hơn về nồng độ tối ưu cho từng loại hỗn hợp xơ cụ thể, cũng như đánh giá tác động của chúng đối với quá trình nhuộm và hoàn tất ở chu kỳ sản xuất tiếp theo. Ngoài ra, chi phí vận hành và tính bền vững sinh thái của các hóa chất bôi trơn này là những biến số cần được định lượng trong mô hình kinh tế tuần hoàn của ngành.

#### 3.5. Phân loại: Mất xích then chốt trong kiểm soát chất lượng xơ tái chế

Phân loại (Sorting) được coi là quy trình mang tính quyết định đến giá trị thương mại của sản phẩm sau tái chế. Sự không đồng nhất về bản chất polymer, cấu trúc dệt và mức độ nhiễm bẩn trong các dòng chất thải dệt may hiện nay đòi hỏi một quy trình phân tách nghiêm ngặt để đảm bảo các đặc tính cơ lý của xơ thu hồi đạt tiêu chuẩn kéo sợi.

Một trong những thách thức kỹ thuật lớn nhất là sự hiện diện của Elastane (Spandex). Các dòng vải có hàm lượng elastane vượt

ngưỡng 5% gây ra trở ngại lớn cho quá trình phân tách cơ học do tính đàn hồi cao, đòi hỏi ứng suất cắt lớn hơn để phá vỡ cấu trúc sợi, từ đó làm gia tăng hư hại vật lý lên xơ nền (xơ bông hoặc polyester). Việc nhận diện và loại biên các dòng vải này là ưu tiên hàng đầu trong các hệ thống phân loại hiện đại.

### 3.5.1. Sự trỗi dậy của các công nghệ phân loại tiên tiến

Để đạt được hiệu quả kinh tế quy mô, ngành công nghiệp đang dịch chuyển mạnh mẽ từ phân loại thủ công sang các giải pháp tự động hóa tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI).

**Bảng 3. Đánh giá ưu nhược điểm của các công nghệ phân loại dệt may hiện nay**

Công nghệ	Nguyên lý cốt lõi	Ưu thế chiến lược	Hạn chế kỹ thuật
NIR Spectroscopy	Hấp thụ dao động trong vùng 780–2526 nm.	Tốc độ cao, dễ triển khai quy mô công nghiệp.	Kém hiệu quả với vải màu tối và sợi pha trộn.
Raman Spectroscopy	Tán xạ ánh sáng không đàn hồi.	Phân tích định lượng chính xác, không phá hủy mẫu.	Dễ bị nhiễu do hiện tượng huỳnh quang.
RGB Imaging	Phân tích dựa trên kênh màu và kết cấu bề mặt.	Hiệu quả trong phân loại theo màu sắc và hoa văn.	Không thể nhận diện bản chất hóa học của xơ.
Hyperspectral	Kết hợp dữ liệu phổ và bản đồ không gian.	Độ chính xác tối ưu, phân loại được mọi loại xơ.	Chi phí đầu tư cao, yêu cầu tập dữ liệu lớn.

- Quang phổ Raman tích hợp AI: Vượt trội hơn NIR trong việc phân tích dao động phân tử không đàn hồi, cung cấp dữ liệu định lượng chính xác về thành phần sợi. Việc ứng dụng các thuật toán Học sâu như CNN, RNN và GAN giúp xử lý các phổ Raman phức tạp, cho phép phân loại vật liệu theo thời gian thực với độ chính xác cao.

- Hình ảnh siêu phổ (HSI): Công nghệ này tạo ra một "dấu vân tay" hóa học cho từng mảnh vải bằng cách kết hợp dữ liệu không gian và quang phổ. HSI có khả năng phân biệt chính xác giữa Cotton, Polyester và Rayon ngay cả khi chúng có ngoại quan tương đồng,

Theo Faghieh và cộng sự (2025), ba trụ cột công nghệ chính bao gồm: Quang phổ học, Phân tích hình ảnh và Hình ảnh siêu phổ (HSI).

- Quang phổ cận hồng ngoại (NIR): Là kỹ thuật phổ biến nhất hiện nay nhờ khả năng nhận diện polymer tốc độ cao dựa trên đặc trưng hấp thụ dao động phân tử (700–2500 nm). Tuy nhiên, NIR gặp rào cản lớn với các vật liệu màu tối (do carbon black hấp thụ toàn bộ tín hiệu) và các dòng vải pha trộn phức tạp (ví dụ: Cotton/Polyester) [5].

giải quyết triệt để hạn chế của các phương pháp hình ảnh RGB thông thường.

### 3.5.2. Chiến lược "Thiết kế để tái chế" và Gắn thẻ kỹ thuật số

Bên cạnh giải pháp phần cứng, xu hướng Thiết kế sinh thái (Eco-design) đang thúc đẩy việc sử dụng các hệ thống truy xuất nguồn gốc số hóa.

- Mã QR và RFID: Được nhúng trực tiếp vào sản phẩm để lưu trữ thông tin về thành phần sợi và quy trình xử lý hóa học. Tuy nhiên, việc tách bỏ các thẻ này trước khi xé cơ học vẫn là một rào cản về mặt chi phí và công nghệ.

- Sợi quang tử: Một giải pháp đầy hứa hẹn khi nhúng các sợi polymer đặc biệt vào vải trong quá trình dệt. Các sợi này tạo ra phản xạ quang học đặc trưng, cho phép máy phân loại nhận diện chính xác nguồn gốc mà không cần thêm vật liệu ngoại lai.

### 3.5.3. Thách thức và lộ trình tương lai

Mặc dù tiềm năng của AI và cảm biến là rất lớn, nhưng thực tế các hệ thống phân loại công nghiệp hiện nay mới chỉ đạt hiệu suất thực tế ở mức thấp do sự đa dạng quá mức của rác thải sau tiêu dùng. Khoảng trống giữa nghiên cứu phòng thí nghiệm và triển khai thực địa (hiện mới đạt khoảng 10% độ chính xác mục tiêu trong môi trường hỗn hợp) mở ra cơ hội lớn cho các nghiên cứu về Định vị động và Tương tác Robot-Người nhằm tối ưu hóa chuỗi giá trị tuần hoàn [5]

## 3.6. Công nghệ Xé nhỏ (Shredding) trong xử lý chất thải dệt may

### 3.6.1. Hệ thống máy nghiền và vai trò trong chu trình tái chế

Máy nghiền là thiết bị cốt lõi trong các hệ thống quản lý chất thải hiện đại, được thiết kế chuyên biệt để xử lý đa dạng các nguồn vật liệu từ rác thải điện tử, kim loại đến nhựa và gỗ [4]. Trong bối cảnh khủng hoảng rác thải dệt may toàn cầu, máy nghiền dệt may đã trở thành công cụ thiết yếu cho các tổ chức từ khu vực công (bệnh viện, quân đội) đến khu vực tư nhân (chuỗi bán lẻ, nhà sản xuất) nhằm tối ưu hóa việc thu hồi tài nguyên sợi.

Quá trình xé nhỏ đóng vai trò giảm kích thước vật lý ban đầu của chất thải (quần áo, thảm, vải nội thất), tạo tiền đề cho các bước tách xơ tinh ở giai đoạn sau [4]. Để đảm bảo hiệu suất, các hệ thống này thường tích hợp đồng bộ các thiết bị phụ trợ như:

- Hệ thống nạp và vận chuyển: Băng tải và phễu tùy chỉnh.

- Hệ thống an toàn: Máy dò kim loại để bảo vệ lưỡi cắt.

- Hệ thống xử lý đầu ra: Máy ép kiện và hệ thống nén khí.

Cấu hình trục cắt quyết định trực tiếp đến chất lượng mảnh vụn:

- Cấu hình trục kép: Phù hợp cho việc phá hủy cấu trúc tổng thể và giảm kích thước thô.

- Cấu hình trục ba hoặc bốn: Sử dụng các trục quay ngược chiều để tạo ra kích thước hạt đồng nhất và nhất quán hơn. Sự đồng nhất này là yếu tố tiên quyết để nâng cao hiệu suất thu hồi xơ chất lượng cao ở các công đoạn xử lý sâu [4].

### 3.6.2. Tối ưu hóa thông số vận hành và các biến số ảnh hưởng

Hiệu suất của quy trình xé nhỏ không chỉ phụ thuộc vào cơ khí mà còn chịu tác động lớn từ đặc tính hóa lý của vật liệu đầu vào. Các nghiên cứu thực nghiệm của Utebay và cộng sự (2019) đã chỉ ra những tương quan quan trọng:

- Tác động của thuốc nhuộm: Vải cotton chưa nhuộm cho ra xơ có hàm lượng xơ ngắn (SFC) thấp hơn và độ bền cao hơn so với vải đã nhuộm. Điều này cho thấy các tác nhân hóa học trong quá trình nhuộm có thể làm suy giảm tính toàn vẹn cấu trúc của xơ cellulose.

- Cấu trúc dệt: Vải dệt kim đơn cho phép thu hồi xơ dài và bền hơn so với các cấu trúc dệt chặt, do lực liên kết giữa các vòng sợi lỏng lẻo hơn.

- Cường độ xử lý: Việc tăng số lần cắt lên 03 lần giúp tối ưu hóa độ mở của vải; tuy nhiên, vượt quá ngưỡng này sẽ dẫn đến sự suy giảm cơ tính trầm trọng. Điều này nhấn mạnh sự đánh đổi giữa mức độ phân rã vật liệu và chất lượng xơ bảo tồn.

Bên cạnh đó, nghiên cứu trên vải denim đã làm sáng tỏ vai trò của tốc độ trống và thời gian xử lý [1]. Kết quả cho thấy việc tăng tốc độ trống tương đối giúp cải thiện sản lượng sợi mà không làm gia tăng đáng kể lượng bụi mịn (vật liệu thất thoát). Tuy nhiên, do denim có độ bền cơ học đặc thù, các thông số này cần được kiểm chứng thêm trên dải rộng các loại vải dệt thoi và dệt kim khác để xây dựng một bộ thông số vận hành tiêu chuẩn cho ngành tái chế cơ học.

Việc tinh chỉnh đồng bộ giữa đặc tính vật liệu và thông số máy móc chính là chìa khóa để tối đa hóa năng suất đồng thời duy trì được

chất lượng xơ tái chế tiệm cận với xơ nguyên bản.

### 3.7. Công nghệ Mở sợi trong tái chế cơ học

#### 3.7.1. Cơ chế vận hành của máy mở sợi

Quá trình mở sợi (thường gọi là xé sợi) là giai đoạn quyết định trong việc giải phóng các xơ đơn lẻ từ cấu trúc vải hoặc sợi phế thải [4]. Công nghệ này đặc biệt hiệu quả đối với các nhóm xơ chủ đạo như bông, len và acrylic. Cơ chế cốt lõi bao gồm việc sử dụng lực kéo cơ học liên tiếp thông qua các cụm tang trống (xi lanh) gắn răng cưa để phá vỡ liên kết của hàng dệt.

Thông thường, một dây chuyền công nghiệp bao gồm từ 01 đến 06 trống sắp xếp nối tiếp:

- Trống sơ cấp: Thực hiện mở thô các mảnh vải vụn.

- Các trống kế tiếp: Dần dần tinh chế và tách rời các cụm xơ thành xơ đơn lẻ nhờ mật độ răng cưa dày hơn và tốc độ quay cao hơn.

- Các hệ thống hiện đại còn tích hợp bộ điều khiển giám sát chất lượng trực tuyến, hệ thống ngưng tụ xơ và thiết bị hút bụi trung tâm để đảm bảo môi trường làm việc và độ sạch của sản phẩm đầu ra.

Nghiên cứu trên máy Shirley Analyzer đã chỉ ra một nghịch lý kỹ thuật: việc tăng số lần đi qua máy giúp cải thiện chiều dài xơ trung bình và chiều dài tứ phân vị trên, nhưng đồng thời làm gia tăng tỷ lệ nút thắt (neps) và hàm lượng xơ ngắn do tác động va đập liên tục của răng cưa. Tương tự, Kanan (2024) khẳng định hệ thống 07 con lăn mang lại Chỉ số Chất lượng Sợi (FQI) vượt trội hơn hẳn các thiết lập ít con lăn đối với phế liệu denim.

#### 3.7.2. Tác động của độ hao mòn vật liệu và điều kiện môi trường

Một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến chất lượng xơ tái chế là tình trạng vật lý của nguyên liệu đầu vào gồm:

- Mức độ hao mòn: Quần áo cũ (bị mòn nhiều) thực tế lại tạo ra xơ tái chế dài hơn so với vải mới. Lý do là sự mài mòn trong quá trình sử dụng đã làm yếu đi cấu trúc liên kết

sợi, giúp máy mở xơ tách rời chúng dễ dàng hơn mà không gây đứt gãy xơ do ứng suất cơ học.

- Điều kiện khí quyển: Độ ẩm và nhiệt độ môi trường không cho thấy tác động đáng kể đến chiều dài xơ bông trong quá trình mở, tuy nhiên cần có thêm nghiên cứu đối với các loại xơ có khả năng hút ẩm cao như len để xác nhận tính khái quát này.

#### 3.7.3. Tương quan giữa cấu trúc vải và khả năng thu hồi xơ

Hiệu suất của quá trình mở sợi bị chi phối mạnh mẽ bởi cấu trúc hình học của hàng dệt:

- Cấu trúc dệt: Vải dệt kim hoặc vải dệt thoi có mật độ lỏng lẻo thường cho xơ tái chế dài và chất lượng cao hơn so với vải dệt chặt. Điều này do lực cản ma sát giữa các sợi trong cấu trúc dệt lỏng thấp hơn, giảm thiểu ứng suất cắt lên xơ.

- Hình dạng mẫu và hướng cấp liệu: Các nghiên cứu gần đây của Lindström (2024) chỉ ra rằng việc cấp liệu theo đường chéo đối với các mẫu hình tròn giúp cải thiện đáng kể khả năng kéo sợi và thu hẹp phân bố chiều dài xơ. Trong khi đó, các mẫu hình chữ nhật lại giúp giảm thiểu lượng vải chưa mở.

**Tổng kết:** Việc tối ưu hóa quá trình mở sợi đòi hỏi sự cân bằng giữa số lần xử lý và cường độ tác động cơ học. Sự khác biệt về các thông số dệt thoi/dệt kim (chiều dài mũi khâu, mật độ sợi dọc/ngang) chính là những biến số tiềm năng cần được định lượng hóa trong các nghiên cứu tương lai để tối đa hóa tỷ lệ thu hồi xơ hữu dụng.

### 3.8. Đánh giá chất lượng xơ tái chế trong quá trình tái chế cơ học

Chất lượng xơ tái chế là biến số quyết định khả năng kéo sợi (spinnability) và hiệu suất lý tính của sản phẩm dệt may cuối cùng. Việc đánh giá định lượng các đặc tính xơ không chỉ giúp tối ưu hóa dây chuyền sản xuất mà còn đảm bảo vật liệu đáp ứng được các tiêu chuẩn khắt khe về thẩm mỹ và độ bền cơ học.

Các chỉ số kỹ thuật cốt lõi bao gồm:

- Phân bố chiều dài xơ: Chiều dài trung bình (ML) và hàm lượng xơ ngắn (SFC).

- Đặc tính hình học và cơ lý: Độ mịn (fineness), độ bền kéo (STR) và chỉ số đồng nhất (UI).

- Mức độ tạp chất: Số lượng nút thắt (neps) và hiệu suất tách xơ.

Để đo lường các thông số này, các thiết bị tiêu chuẩn công nghiệp như Máy phân tích Shirley, hệ thống HVI (High Volume Instrument) và đặc biệt là AFIS (Advanced Fiber Information System) của Uster được sử dụng rộng rãi nhằm cung cấp dữ liệu phổ chi tiết về tình trạng xơ sau khi xử lý.

### 3.8.1. Chỉ số chất lượng xơ (FQI) và Chỉ số ổn định kéo sợi (SCI)

Để đánh giá toàn diện tiềm năng của xơ tái chế, hai chỉ số tích hợp thường được sử dụng:

#### 1. Chỉ số Chất lượng Xơ (FQI):

$$FQI = (ML \times STR) / \text{Độ mịn}$$

Chỉ số này cho phép so sánh hiệu quả của các điều kiện xử lý khác nhau đối với chất lượng xơ thu hồi.

#### 2. Chỉ số Độ nhất quán Kéo sợi (SCI):

Thường áp dụng cho xơ bông, SCI tổng hợp các giá trị về độ bền, chiều dài trung bình nửa trên (UHML), chỉ số đồng nhất (UI) và giá trị Micronaire (phản ánh cả độ mịn và độ trưởng thành của xơ).

Nghiên cứu của Béchir và cộng sự (2018) đã chỉ ra một sự đánh đổi quan trọng: Khi tăng số lần đi qua máy mở xơ từ 1 đến 7, giá trị FQI tăng lên do xơ được tách rời và làm sạch tốt hơn. Tuy nhiên, giá trị SCI lại có xu hướng giảm, cho thấy tính nhất quán trong quá trình kéo sợi bị suy giảm [5]. Điều này đặt ra yêu cầu phải kiểm soát chặt chẽ cường độ xử lý cơ học để duy trì tính toàn vẹn cấu trúc của xơ.

### 3.8.2. Định lượng mức độ mở xơ trong tái chế cơ học

Mức độ mở xơ (Degree of opening) định lượng tỷ lệ xơ đã được tách rời hoàn toàn khỏi cấu trúc vãi. Hiện có hai phương pháp tiếp cận chính:

Phương pháp trực tiếp (Hiệu suất tách):

Xác định thông qua việc phân loại thủ công hoặc máy móc các thành phần trong hộp giao hàng (delivery box) để tách riêng xơ đã

mở (MSF) và các mảnh sợi/vãi chưa mở (MNFS).

$$\text{Hiệu suất (\%)} = (MSF/MFS) \times 100,$$

Mặc dù trực quan, phương pháp này chưa phản ánh được chất lượng nội tại hoặc khả năng kéo sợi của xơ sau khi tách [4].

Phương pháp gián tiếp (Đo Micronaire):

Lindström và cộng sự (2024) đề xuất sử dụng giá trị Micronaire để ước tính mức độ mở xơ dựa trên độ thấm khí của khối xơ. Bằng cách so sánh mẫu tái chế với các hỗn hợp tham chiếu (tỷ lệ 0/100 đến 100/0 giữa xơ đã mở và chưa mở), nghiên cứu xác định mức độ mở xơ dao động từ 40% đến 60%.

Kết luận kỹ thuật: Việc đánh giá chất lượng không thể chỉ dựa trên một chỉ số duy nhất. Sự kết hợp giữa các phép đo vật lý (AFIS/HVI) và các chỉ số tích hợp (FQI/SCI) là cần thiết để dự báo chính xác hành vi của xơ tái chế trong các công đoạn sản xuất hạ nguồn.

## 3.9. Tái chế cơ học: Lộ trình tuần hoàn và các biến số vật liệu

### 3.9.1. Tái chế vòng kín so với Tái chế vòng hở

Hiệu quả của tái chế cơ học trong việc thúc đẩy nền kinh tế tuần hoàn được đánh giá qua hai mô hình chiến lược:

Tái chế vòng kín: Đây là mô hình lý tưởng nơi chất thải dệt may được tái tích hợp trực tiếp vào cùng một chuỗi giá trị sản phẩm ban đầu (ví dụ: quần áo cũ tái chế thành sợi kéo sợi cho hàng may mặc mới) [5].

Lợi ích môi trường: Đánh giá vòng đời (LCA) chỉ ra rằng tái sử dụng 1 kg quần áo có thể tiết kiệm 65 kWh (đối với bông) và lên đến 90 kWh (đối với polyester) so với sản xuất nguyên liệu nguyên sinh.

Thách thức: CLR đòi hỏi nguyên liệu đầu vào có độ tinh khiết cực cao, chủ yếu dựa vào chất thải trước tiêu dùng (Pre-consumer) để duy trì các đặc tính cơ lý như độ bền và độ cứng của xơ.

Tái chế vòng hở (Open-loop Recycling - OLR): Còn được gọi là tái chế "xuống cấp" (Downcycling), nơi vật liệu được chuyển đổi thành các sản phẩm có giá trị thấp hơn hoặc

không liên quan đến ngành may mặc như vật liệu cách nhiệt, giặt lau công nghiệp, lớp lót thảm hoặc vải không dệt.

Đặc điểm: OLR thường là đích đến của chất thải sau tiêu dùng (Post-consumer) do sự không đồng nhất về thành phần và sự suy giảm chiều dài xơ sau quá trình xử lý cơ học cường độ cao. Mặc dù OLR giúp trì hoãn việc rác thải bị đưa ra bãi chôn lấp (MSW), nó vẫn

chưa giải quyết triệt để bài toán tuần hoàn vĩnh cửu nếu thiếu các đổi mới trong kỹ thuật tái tạo xơ.

### 3.9.2. Tính đặc thù của xơ trong hệ thống tái chế

Khả năng thích ứng của quy trình tái chế cơ học phụ thuộc mật thiết vào bản chất polymer của xơ:

**Bảng 4.** So sánh khả năng tuần hoàn theo loại xơ

Đặc tính	Xơ Len	Xơ Bông
Độ bền chu kỳ	Cao (duy trì cấu trúc tốt qua nhiều lần kéo lại)	Trung bình (chiều dài xơ giảm nhanh)
Lộ trình phổ biến	Vòng kín & Vòng hở	Bán khép kín (cần pha trộn nguyên sinh)
Ứng dụng chủ đạo	Hàng dệt kim cao cấp, chăn len	May mặc phổ thông, vải không dệt
Thách thức chính	Giữ được độ mảnh và độ mềm	Bảo tồn chiều dài xơ để kéo sợi cao chi số

Xơ Len: Có lịch sử tái chế lâu đời từ Thế chiến I và thể hiện tính linh hoạt vượt trội. Cấu trúc vảy và độ đàn hồi tự nhiên của len cho phép nó chịu đựng tốt hơn các tác động của quy trình kéo sợi chải (carding) và kéo sợi hỗn hợp, giúp len dễ dàng tham gia vào cả hai lộ trình CLR và OLR.

## 4. KẾT LUẬN VÀ ĐỊNH HƯỚNG

Tương lai của tái chế dệt may cơ học phụ thuộc vào việc thu hẹp khoảng cách chất lượng giữa xơ tái chế và xơ nguyên sinh thông qua tối ưu hóa công nghệ mở xơ và thiết kế sản phẩm "hướng tới tái chế".

Bài đánh giá này khẳng định vai trò không thể thay thế của tái chế cơ học như một trục cột chiến lược trong việc chuyển đổi ngành dệt may sang mô hình kinh tế tuần hoàn bền vững. Dù đã đạt được những bước tiến công nghệ nhất định, quá trình tối ưu hóa chất lượng xơ và hiệu quả xử lý vẫn đối mặt với nhiều rào cản kỹ thuật phức tạp.

### 4.1. Những thách thức cốt lõi

Nghiên cứu nhấn mạnh sự cần thiết của những đổi mới mang tính đặc thù cho từng loại sợi. Đặc biệt, việc tái chế cơ học sợi tổng hợp — thành phần chiếm tỷ trọng lớn nhất

Xơ Bông: Mặc dù là xơ tự nhiên được tiêu thụ nhiều nhất, bông gặp thách thức lớn do chiều dài xơ bị rút ngắn đáng kể sau mỗi chu kỳ tái chế cơ học. Để đảm bảo khả năng kéo sợi, xơ bông tái chế thường phải pha trộn (blend) với xơ nguyên sinh theo tỷ lệ nhất định, tạo thành mô hình tái chế bán khép kín trong chuỗi cung ứng thời trang hiện đại — cần được đầu tư mạnh mẽ để sản xuất ra các dòng xơ tái chế chất lượng cao mà vẫn đảm bảo tính khả thi về mặt kinh tế.

Thách thức lớn nhất hiện nay nằm ở dòng chất thải sau tiêu dùng. Sự không đồng nhất về cấu trúc, mức độ ô nhiễm và sự hiện diện của các loại vải pha trộn đòi hỏi một hệ thống giải pháp đồng bộ từ khâu phân loại đến tiền xử lý.

### 4.2. Lộ trình nghiên cứu ưu tiên

Để nâng cao khả năng mở rộng quy mô và tính bền vững, các hướng nghiên cứu tiếp theo cần tập trung vào các mắt xích sau:

**Tối ưu hóa Tiền xử lý:** Xác định loại và nồng độ chất bôi trơn (lubricants) tối ưu cho từng hỗn hợp sợi cụ thể nhằm giảm ma sát liên kết, bảo tồn chiều dài xơ và giảm thiểu dấu chân môi trường của hóa chất.

**Hệ thống Phân loại thông minh:** Phát triển và ứng dụng các công nghệ hỗ trợ AI và Quang phổ học (NIR/HSI) để nhận diện chính xác vải pha trộn, nâng cao độ tinh khiết của nguyên liệu đầu vào — yếu tố tiên quyết cho chất lượng đầu ra.

**Cơ học hóa cấu trúc dệt:** Cần có các nghiên cứu hệ thống về tác động của các thông số cấu trúc vải (chiều dài mũi khâu, mật độ sợi dọc/ngang) đến hiệu suất thu hồi xơ. Việc định lượng hóa mối quan hệ giữa công đoạn xé thô và mở xơ tinh sẽ giúp tinh chỉnh các thông số máy móc để giảm thiểu hư tổn vật lý lên xơ.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Gan, S.; Xiao, S.; Liu, T.; Wang, C.; Li, S.; Sun, Y.; Tang, Y. *Tái chế sợi PET phế thải tại chỗ bằng cách đưa sợi phế thải dưới dạng bột nghiền vào để cải thiện chất lượng sản phẩm, tăng hiệu quả năng lượng và giảm tác động đến môi trường.* Tạp chí Kỹ thuật Sợi và Sản xuất. 2024
2. Damayanti, D.; Wulandari, LA; Bagaskoro, A.; Rianjanu, A.; Wu, HS *Các lộ trình khả thi cho công nghệ tái chế dệt may.* Polymers 2021 , 13 , 3834.
3. Celep, G.; Tetik, GD; Yilmaz, F. *Những hạn chế của việc tái chế dệt may: Lý do đằng sau sự phát triển của các loại sợi bền vững thay thế.* Trong Dệt may thế hệ tiếp theo ; IntechOpen: London, Vương quốc

**Biến số môi trường:** Nghiên cứu sâu hơn về tác động của độ ẩm đến hành vi lý tính của xơ tự nhiên (len, lanh) trong quá trình xử lý cơ học để thiết lập điều kiện khí quyển tối ưu cho nhà xưởng tái chế.

### 4.3. Tầm nhìn chiến lược

Một hệ thống tái chế cơ học hiệu quả trong tương lai phải là sự hợp nhất của ba yếu tố: Phân loại tự động hỗ trợ AI, Tiền xử lý hóa lý tiết kiệm chi phí và Cơ chế mở xơ tối ưu hóa. Việc giải quyết các "nút thắt" này không chỉ giúp giảm chi phí xử lý mà còn bảo tồn tối đa giá trị tài nguyên, trực tiếp giảm bớt gánh nặng sinh thái mà chuỗi cung ứng thời trang đang đặt lên hành tinh.

Anh, 2022.

4. Huang, X.; Tan, Y.; Huang, J.; Zhu, G.; Yin, R.; Tao, X.; Tian, X. *Công nghiệp hóa việc tái chế chất thải dệt may theo chu trình mở và khép kín hướng tới sự bền vững: Một bài đánh giá.* Tạp chí Sản xuất Sạch. 2024
5. Yousef, S.; Tatarants, M.; Tichonovas, M.; Kliucininkas, L.; Lukošūūtė, S.; Yan, L. *Công nghệ xanh bền vững để thu hồi sợi bông và polyester từ chất thải dệt may.* Tạp chí Sản xuất Sạch. 2020 , 254 , 120078.
6. Raluca, BRAD *Kinh tế tuần hoàn và tái chế trong ngành dệt may.* Ann. Univ. Oradea. Fascicle Text. Leatherwork 2023 , 24 , 17–26.

- Ngày gửi bài: 25/05/2026
- Ngày phản biện: 27/05/2026
- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026

**THE ROLE OF DIGITAL TRANSFORMATION IN ENHANCING THE COMPETITIVENESS OF RURAL INDUSTRIAL ENTERPRISES IN VIETNAM**

Ngo Ngoc Tram Anh<sup>1</sup>

**ABSTRACT**

*In the context of the Fourth Industrial Revolution, digital transformation has become an important driving force for enhancing enterprise competitiveness, particularly among rural industrial enterprises, which are generally characterized by small scale, limited technological capacity, and weak market access. This paper analyzes the role of digital transformation in improving the competitiveness of rural industrial enterprises in Vietnam. It clarifies the role of digital transformation in enhancing production efficiency, expanding markets, improving corporate governance, and strengthening innovation capacity. The analysis also identifies several challenges, including limited financial resources, inadequate digital skills, and underdeveloped technological infrastructure. On this basis, the study proposes several policy implications to promote digital transformation in the rural industrial sector.*

**Keywords:** enterprises, competitiveness, digital transformation, rural industry, Vietnam.

In recent years, digital transformation has become an inevitable trend in global economic development. In Vietnam, the Government has issued a number of important policies to promote digital transformation, notably Decision No. 749/QĐ-TTg in 2020 on the National Digital Transformation Program (Chinh phu, 2020). Accordingly, enterprises are identified as the center of the digital transformation process and play a key role in enhancing national competitiveness. The rural industrial sector in Vietnam plays an important role in local economic development, job creation, and economic restructuring. According to the Ministry of Industry and Trade (2025), the country has more than 2,000 industrial clusters and tens of thousands of rural industrial production establishments, most of

which are small and medium-sized enterprises (SMEs). However, this sector still faces many limitations, such as outdated technology, low productivity, and weak participation in global value chains. In this context, digital transformation is expected to serve as a breakthrough solution to help rural industrial enterprises improve their competitiveness. According to the World Bank (2021), the application of digital technologies can help enterprises increase productivity by 20–30% while significantly reducing operating costs. Nevertheless, the level of digital transformation adoption among rural industrial enterprises in Vietnam remains relatively limited, with only about 20–30% of SMEs applying digital technologies at a basic level.

**1. THEORETICAL FOUNDATION**

***1.1. The concept and nature of digital transformation in enterprises***

In recent years, the concept of digital transformation has been approached from various perspectives in academic research. According to Gregory Vial (2019), digital

transformation is understood as a process in which organizations use digital technologies to create profound changes in business models, organizational structures, and value creation methods. Unlike digitization, which merely converts data from physical to digital form, or the digitalization of processes,

<sup>1</sup> Graduate Student, Thanh Dong University  
Email: tramanhhh28@gmail.com

which improves processes through technology, digital transformation is more strategic and comprehensive in nature.

From the perspective of strategic management, digital transformation is not merely a technological tool but also a process of enterprise restructuring aimed at adapting to a new competitive environment. According to Erik Brynjolfsson and Andrew McAfee (2014), enterprises that effectively apply digital technologies are able to create a “*digital advantage*” enabling them to outperform competitors in terms of productivity and innovation. For rural industrial enterprises in particular, digital transformation is significant in narrowing the technological gap between rural and urban areas. Technologies such as cloud computing, e-commerce, and big data enable small-scale enterprises to access resources that were previously available only to large enterprises (World Bank, 2021).

### ***1.2. Theories of enterprise competitiveness and competitive advantage***

The concept of enterprise competitiveness has been developed from various theoretical schools. According to Michael E. Porter (1985), a firm’s competitive advantage derives from its ability to perform activities in the value chain at a lower cost or to create differentiation compared with its competitors. Porter’s value chain model emphasizes the role of activities such as production, marketing, and services in value creation. However, in the context of the knowledge economy, the resource-based view has expanded this concept. According to Jay Barney (1991), a firm’s sustainable competitive advantage depends on its possession and effective exploitation of resources that are valuable, rare, difficult to imitate, and difficult to substitute. In the context of digital transformation, resources

such as data, technological capabilities, and digital skills have become core factors. In addition, David J. Teece’s dynamic capabilities theory (2007) emphasizes the ability of enterprises to integrate, build, and reconfigure resources in order to adapt to rapidly changing environments. Digital transformation is a specific manifestation of dynamic capabilities, as enterprises must continuously adjust their strategies and operating models to take advantage of new technologies.

### ***1.3. Mechanisms through which digital transformation affects competitiveness***

Based on the above theoretical synthesis, the impact mechanism of digital transformation on the competitiveness of rural industrial enterprises can be analyzed through four main channels.

*First, digital transformation improves operational efficiency.* It enables the automation of production and management processes, thereby reducing costs and increasing productivity. This is consistent with Porter’s theory of cost advantage.

*Second, digital transformation expands markets and improves customer access.* Digital platforms such as e-commerce help rural industrial enterprises overcome geographical limitations and reach customers on a wider scale. This is an important factor in increasing revenue and strengthening competitive position.

*Third, digital transformation improves managerial capacity.* Digital management systems, such as ERP and CRM, help enterprises improve decision-making quality, enhance information transparency, and optimize resources. This is directly related to enterprises’ dynamic capabilities.

*Fourth, digital transformation promotes innovation.* Digital technologies create favorable conditions for enterprises to

develop new products, improve processes, and personalize services. This is a core factor

**2. RESEARCH METHODOLOGY**

In this paper, the author adopts a qualitative approach based on the analysis of secondary data to clarify the role of digital transformation in enhancing the competitiveness of rural industrial enterprises in Vietnam. This approach is selected because the study is primarily synthetic in nature, aiming to explain impact mechanisms and assess development trends rather than to test quantitative hypotheses. According to Creswell (2014), qualitative research is particularly appropriate in cases where it is necessary to explore a phenomenon within a complex practical

**3. ANALYSIS OF THE CURRENT STATE OF DIGITAL TRANSFORMATION IN RURAL INDUSTRIAL ENTERPRISES IN VIETNAM**

Table 3.1 indicates that most enterprises remain at the stage of adopting basic digital technologies such as Internet connectivity and email communication, while more strategic technologies, including Enterprise Resource Planning (ERP), Customer Relationship Management (CRM), and Artificial Intelligence (AI), have not yet been

in creating sustainable competitive advantage according to the resource-based view.

context, especially when quantitative data are limited or incomplete. In the Vietnamese context, data collection on digital transformation in the rural industrial sector remains fragmented; therefore, the use of secondary data from various sources is a reasonable choice. The author applies an interpretive analytical approach combined with inductive reasoning, using multiple data sources from the General Statistics Office, the Ministry of Industry and Trade, the World Bank, the OECD, and UNIDO to conduct comparative and trend analyses, thereby drawing conclusions about the role and impact mechanisms of digital transformation. widely implemented. This situation clearly reflects the phenomenon of “surface-level digital transformation,” in which enterprises digitize certain activities without fundamentally transforming their business models. The level of technology adoption among rural industrial enterprises is even lower due to constraints related to financial resources and human capital. Consequently, a significant competitiveness gap exists between rural enterprises and their urban counterparts.

*Table 3.1. Level of digital technology adoption in Vietnamese enterprises*

<b>Content of Digital Technology Application</b>	<b>Percentage of Enterprises (%)</b>
Internet usage	72
Use of email for business communication	68
Use of accounting software	54
Use of e-commerce platforms	32
Use of ERP/CRM systems	18
Application of AI/Big Data	5

*Source: Compiled by the author from MPI and World Bank data.*

**3.1. The Impact of Digital Transformation on Operational Efficiency**

It can be seen that digital transformation has had and continues to have a clear impact

on the production efficiency and operational performance of enterprises.

**Table 3.2. The Impact of Digital Transformation on Operational Efficiency**

Indicator	Non-Digitally Transformed Enterprises	Digitally Transformed Enterprises
Labor productivity growth (%)	5–10	20–30
Reduction in operating costs (%)	3–5	15–20
Production defect rate (%)	8–10	3–5
Order processing time (days)	5–7	2–3

Source: World Bank (2021); OECD (2020).

Enterprises that have adopted digital transformation demonstrate significantly superior operational performance compared to those that have not. Specifically, labor productivity is reported to be two to three times higher, while operating costs are substantially reduced. Notably, order processing time has been shortened from approximately 5 - 7 days to only 2 - 3 days, highlighting the crucial role of digital technologies in optimizing production processes and logistics operations. These findings are fully consistent with Porter's

(1985) theory of cost advantage, which argues that technological innovation enables firms to achieve superior efficiency and sustainable competitive advantages.

### 3.2. The Impact of Digital Transformation on Market Expansion

In the current period, as Vietnam seeks to accelerate economic growth and enhance its global integration, one of the most significant benefits of digital transformation is its ability to expand market access through digital platforms.

**Table 3.3. Percentage of Enterprises Participating in Online Markets**

Business Model	Percentage of Enterprises (%)
Traditional sales only	58
Combination of online and offline sales	30
Primarily online sales	12

Source: Ministry of Industry and Trade (2023).

The data indicate that although the majority of enterprises still rely on traditional sales channels, the trend toward integrating online and offline business models is increasing. Approximately 42% of enterprises have already participated in the digital marketplace, demonstrating that digital transformation is gradually reshaping market access strategies. For rural industrial enterprises, participation in e-commerce platforms helps overcome geographical constraints, particularly in accessing international markets. Currently, many enterprises and household businesses in rural areas have begun conducting transactions

through e-commerce platforms, while traditional craft products are increasingly marketed and sold via platforms such as Shopee, Lazada, and Amazon. This development enables rural enterprises to reach broader customer segments, improve brand visibility, and enhance their competitive position in both domestic and international markets.

### 3.3. The Impact of Digital Transformation on Enterprise Management Capability

The results indicate that more than 60% of enterprises reported improvements in financial management and decision-making

after adopting digital technologies. This finding demonstrates that digital transformation plays a significant role in enhancing the quality of corporate governance. In particular, the use of real-time

data enables enterprises to make faster and more accurate decisions, thereby improving their ability to adapt to market changes - a core element of the dynamic capabilities theory proposed by Teece (2007).

**Table 3.4. Improvement in Management Performance Following Digital Transformation**

Management Aspect	Percentage of Enterprises Reporting Improvement (%)
Financial Management	65
Customer Relationship Management (CRM)	58
Decision-Making	62
Information Transparency	60

*Source: Compiled and calculated by the author*

**3.4. The Impact on Innovation Capacity**

Table 3.5 demonstrates that digital transformation has a significant impact on innovation activities, particularly in product improvement and production process innovation. This finding reflects the role of digital technologies in enhancing innovative

capacity, which is a critical factor in creating sustainable competitive advantage. However, the proportion of enterprises developing entirely new products remains relatively low (35%), suggesting that innovation within the rural industrial sector is still predominantly incremental rather than radical in nature.

**Table 3.5. Innovation Activities in Digitally Transformed Enterprises**

Innovation Activity	Percentage of Enterprises (%)
Product improvement	48
Production process innovation	52
Development of new products	35
Product/service personalization	28

*Source: Compiled and calculated by the author.*

**3.5. Barriers to Digital Transformation**

Despite the numerous benefits generated by digital transformation, its implementation continues to face several significant barriers.

The findings indicate that the most significant barrier is the shortage of human resources with digital skills (72%), followed by financial constraints (68%). These results suggest that digital transformation is not

merely a technological issue but also a challenge related to human capital and resource availability. For the rural industrial sector, these barriers are even more pronounced due to relatively limited socio-economic conditions. This helps explain why the level of digital transformation adoption in this sector remains relatively low.

**Table 3.6. Major Barriers Faced by Enterprises**

Barrier	Percentage of Enterprises (%)
Lack of financial resources	68

Shortage of digitally skilled human resources	72
Insufficient technological infrastructure	55
Lack of awareness and understanding	50

*Source: Compiled and calculated by the author.*

#### 4. MANAGERIAL AND POLICY IMPLICATIONS

The study demonstrates that digital transformation plays a crucial role in enhancing the competitiveness of rural industrial enterprises in Vietnam through four primary mechanisms: (i) improving operational efficiency, (ii) expanding market access, (iii) strengthening managerial capabilities, and (iv) promoting innovation. These findings are not only consistent with the proposed analytical framework but also reinforce existing theoretical foundations.

First, the findings confirm that digital transformation represents a new form of strategic resource from the perspective of the Resource-Based View (RBV). Elements such as data, digital platforms, and technological capabilities can be considered valuable and difficult-to-imitate resources, thereby contributing to the creation of sustainable competitive advantages (Barney, 1991). Given the limitations in capital and scale typically faced by rural industrial enterprises, digital transformation serves as a strategic lever that enables firms to overcome traditional constraints.

Furthermore, the study supports the dynamic capabilities perspective by showing that enterprises adopting digital technologies are better able to adapt to changing business environments. The reduction in order processing time, improvements in decision-making quality, and enhanced market responsiveness provide clear evidence of

firms' ability to reconfigure resources in a digital environment (Teece, 2007).

Although digital transformation generates substantial benefits, the study also reveals that financial constraints, shortages of skilled labor, and inadequate infrastructure remain significant obstacles. These findings suggest that digital transformation is not solely an internal business issue but also depends heavily on the broader institutional ecosystem. This highlights the importance of integrating an ecosystem approach into digital transformation research. Enterprise competitiveness depends not only on internal resources but also on external factors such as public policies, infrastructure, and support networks.

Moreover, the findings reveal the existence of a "digital divide" between rural and urban enterprises. This raises important concerns regarding the inclusiveness of digital transformation and underscores the need for policy interventions aimed at reducing digital inequalities.

##### 4.1. Recommendations for Government and Policymakers

To further strengthen the role of digital transformation in enhancing the competitiveness of enterprises in general and rural industrial enterprises in particular, several policy recommendations are proposed.

*First*, a comprehensive digital transformation ecosystem should be developed for rural areas. This includes investing in digital infrastructure,

particularly high-speed internet connectivity and shared technology platforms designed for small and medium-sized enterprises.

*Second*, specialized financial support policies should be established to assist rural industrial enterprises throughout the digital transformation process. These may include tax incentives, preferential credit programs, and technology innovation support funds.

*Third*, digital skills training programs for the rural workforce should be expanded and strengthened. Human capital development is a critical factor in ensuring the successful adoption and operation of digital technologies.

*Fourth*, stronger collaboration should be promoted among enterprises, research institutions, and technology firms in order to build an innovation ecosystem that generates broader spillover effects.

#### **4.2. Recommendations for Enterprises**

### **5. CONCLUSION, LIMITATIONS, AND FUTURE RESEARCH DIRECTIONS**

In the context of digital transformation becoming an inevitable trend in the global economy, this study has examined the role of digital transformation in enhancing the competitiveness of rural industrial enterprises in Vietnam. The findings indicate that digital transformation has a positive and multidimensional impact on enterprise competitiveness through four primary mechanisms: (i) improving operational efficiency, (ii) expanding market access, (iii) strengthening managerial capabilities, and (iv) fostering innovation. These findings are consistent with the proposed analytical framework and further reinforce major theoretical perspectives, including the Resource-Based View (RBV), Dynamic

To further improve their competitiveness, rural industrial enterprises should focus on the following strategic actions.

*First*, enterprises should recognize that digital transformation is not merely a technological investment but rather a long-term development strategy closely linked to business model transformation.

*Second*, enterprises should prioritize digital solutions that align with their scale and available resources, beginning with fundamental applications such as financial management systems, online sales platforms, and customer relationship management tools.

*Third*, firms should invest in strengthening internal capabilities, particularly employees' digital skills and organizational data management capabilities.

*Fourth*, enterprises should enhance collaboration with digital platforms and technology partners to leverage external resources and reduce initial investment costs. Capabilities Theory, and Competitive Advantage Theory.

The study also reveals that the level of digital transformation within Vietnam's rural industrial sector remains relatively limited and uneven. Major barriers include insufficient financial resources, inadequate digital skills, underdeveloped technological infrastructure, and limited awareness of the benefits associated with digital transformation.

Despite its contributions, the study has several limitations. First, it primarily relies on secondary data sources and therefore may not fully capture the micro-level characteristics of individual enterprises. Second, no quantitative analysis was conducted to empirically test the magnitude of relationships among variables in the proposed framework. Third, the study focuses exclusively on Vietnam, limiting the

generalizability of its findings to other national contexts.

Future research may pursue several directions. First, quantitative methods such as Structural Equation Modeling (SEM) and Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) could be employed to empirically validate the relationships proposed in the conceptual framework. Second, the scope of analysis could be

#### REFERENCES

1. Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
2. Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*. W. W. Norton & Company.
3. Bộ Công Thương. (2023). *Báo cáo công nghiệp nông thôn Việt Nam năm 2023*. Bộ Công Thương Việt Nam.
4. Bộ Kế hoạch và Đầu tư. (2022). *Báo cáo chuyển đổi số doanh nghiệp Việt Nam năm 2022*. Bộ Tài chính (2025), *Sách trắng doanh nghiệp Việt Nam 2025*, NXB Thống kê
5. Bộ tài chính (2025), *Hội nghị đối tác Thúc đẩy chuyển đổi số - xanh doanh nghiệp Việt Nam 2025 (VETTP 2025)*, Hà Nội
6. Chính phủ Việt Nam. (2020). *Quyết định số 749/QĐ-TTg ngày 03/6/2020 về phê duyệt Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030*.
7. Creswell, J. W. (2014). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed*

expanded to include other developing countries for comparative purposes. Third, future studies may further investigate the moderating roles of public policy, organizational culture, and institutional environments. Finally, more in-depth research could focus on specific rural industrial sectors such as traditional craft villages, mechanical engineering enterprises, and agro-processing industries.

*methods approaches* (4<sup>th</sup> ed.). Sage Publications.

8. OECD. (2020). *Digital transformation in SMEs. Organisation for Economic Co-operation and Development*.
9. Porter, M. E. (1985). *Competitive advantage: Creating and sustaining superior performance*. Free Press.
10. Teece, D. J. (2007). Explicating dynamic capabilities: The nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. *Strategic Management Journal*, 28(13), 1319–1350. <https://doi.org/10.1002/smj.640>
11. UNIDO. (2025). *Industrial development report 2026: the Future of Industrialization*. United Nations Industrial Development Organization. <https://www.unido.org/sites/default/files/unido-publications/2025-11/UNIDO%20IDR26.pdf>
12. Vial, G. (2019). *Understanding digital transformation: A review and a research agenda*. *MIS Quarterly*, 43(1), 118–144. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2019/13322>
13. World Bank. (2021). *Vietnam digital economy report 2021*. World Bank Group.

- Ngày gửi bài: 16/05/2026
- Ngày phản biện: 24/06/2026
- Ngày duyệt đăng: 08/06/2026

**KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU, THỬ NGHIỆM MÔ HÌNH ROBOT  
LỌC VỐT DẦU TRÊN MẶT NƯỚC**

Trần An Minh<sup>1</sup>, Nguyễn Phan Bảo Như<sup>1</sup>, Lâm Ngọc Cóm<sup>2</sup>

**TÓM TẮT**

Ô nhiễm dầu trên mặt nước là một trong những vấn đề môi trường đáng quan tâm hiện nay, ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng nguồn nước và hệ sinh thái thủy sinh. Nghiên cứu này trình bày quá trình thiết kế và chế tạo robot lọc vớt dầu trên mặt nước có khả năng điều khiển từ xa, giám sát hoạt động thông qua camera và thực hiện thu gom dầu bằng cơ cấu bánh quay. Hệ thống sử dụng công nghệ truyền thông không dây NRF24L01, kết hợp vi điều khiển ESP32 Devkit V1 và Arduino Nano để điều khiển và giám sát hoạt động. Kết quả thử nghiệm cho thấy robot có khả năng nổi ổn định, di chuyển trên mặt nước, thu gom dầu và truyền dữ liệu vận hành về thiết bị điều khiển. Nghiên cứu góp phần đề xuất giải pháp ứng dụng công nghệ robot trong hỗ trợ xử lý ô nhiễm môi trường nước.

**1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Môi trường nước giữ vai trò đặc biệt quan trọng đối với đời sống con người và sự phát triển của hệ sinh thái. Tuy nhiên, cùng với quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa, tình trạng ô nhiễm dầu tại các sông, hồ và vùng nước nội địa ngày càng gia tăng. Dầu phát sinh từ hoạt động sản xuất công nghiệp, vận hành máy móc, phương tiện thủy hoặc các hoạt động dân sinh có thể gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến chất lượng nguồn nước và môi trường sinh thái.

Hiện nay, việc xử lý dầu tràn chủ yếu dựa vào các biện pháp thủ công hoặc sử dụng vật liệu hấp phụ, đòi hỏi nhiều nhân lực, thời gian

và chi phí. Do đó, việc nghiên cứu các thiết bị hỗ trợ thu gom dầu theo hướng tự động hóa là cần thiết nhằm nâng cao hiệu quả xử lý ô nhiễm môi trường nước.

Xuất phát từ thực tiễn đó, nhóm nghiên cứu thực hiện đề tài “Nghiên cứu và chế tạo robot lọc vớt dầu trên mặt nước” nhằm xây dựng mô hình robot có khả năng điều khiển từ xa, giám sát hoạt động và hỗ trợ thu gom dầu trên mặt nước.

Bắt đầu từ tháng 6 năm 2025, nhóm nghiên cứu của các học sinh và giáo viên Trường THPT chuyên Lý Tự Trọng, thành phố Cần Thơ đã thu được những kết quả bước đầu đáng khích lệ.

**2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG**

**2.1. Nguyên lý thu gom dầu**

Robot được thiết kế dựa trên đặc tính dầu có khối lượng riêng nhỏ hơn nước nên nổi trên bề mặt. Hệ thống thu gom sử dụng tám bánh quay liên tục tiếp xúc với mặt nước để đưa lớp dầu loang lên phía trên.

Dầu sau khi được thu gom sẽ được dẫn vào hai thùng chứa bố trí trên thân robot. Trong quá trình này, hệ thống rãnh thoát và lưới lọc được sử dụng để tách nước khỏi dầu. Phần nước được trả lại môi trường, trong khi dầu được giữ lại trong khoang chứa riêng biệt.

**2.2. Công nghệ truyền thông không dây**

Hệ thống điều khiển sử dụng mô-đun NRF24L01 hoạt động trên băng tần 2,4 GHz. Mô-đun này cho phép truyền nhận dữ liệu giữa tay điều khiển và robot với mức tiêu thụ năng lượng thấp, tốc độ truyền dữ liệu cao và khả năng tích hợp thuận tiện với các vi điều khiển.

Khi người vận hành thực hiện thao tác điều khiển, dữ liệu được mã hóa và truyền đến robot. Bộ thu trên robot tiếp nhận tín hiệu, chuyển tới bộ xử lý để điều khiển các cơ cấu chấp hành. Đồng thời, robot gửi các thông tin vận hành về tay điều khiển nhằm phục vụ giám sát từ xa.

**2.3. Hệ thống xử lý và điều khiển**

<sup>1</sup>Học sinh, <sup>2</sup>Giáo viên Trường THPT chuyên Lý Tự Trọng, thành phố Cần Thơ.

Tay điều khiển sử dụng vi điều khiển ESP32 Devkit V1 để xử lý tín hiệu từ các nút nhấn, giao tiếp với màn hình HMI và thực hiện truyền nhận dữ liệu không dây với robot.

Trên robot, Arduino Nano được sử dụng làm bộ điều khiển trung tâm. Vi điều khiển này đảm nhận nhiệm vụ tiếp nhận dữ liệu từ mô-đun NRF24L01, xử lý tín hiệu từ các cảm biến và điều khiển các cơ cấu chấp hành.

Hệ thống giám sát gồm màn hình HMI UART 2.8 inch dùng để hiển thị các thông số vận hành như tọa độ GPS, trạng thái hệ thống và mức dầu trong thùng chứa. Đồng thời, robot được tích hợp camera FPV kết hợp màn hình Hawkeye giúp truyền hình ảnh với độ trễ thấp, hỗ trợ quan sát hiện trường trong quá trình vận hành.

Để theo dõi lượng dầu trong thùng chứa, hệ thống sử dụng phao cảm biến mức nước CTP5210. Các tín hiệu cảm biến được truyền về bộ điều khiển nhằm phục vụ quá trình vận hành và giám sát.

## 2.4. Tính toán, lựa chọn một số thông số

### 2.4.1. Tính toán thể tích phao nổi của Robot

Robot được đặt trên hệ phao nổi trên mặt nước, do đó điều kiện để Robot nổi được trên mặt nước được xác định dựa trên lực đẩy Acimet như sau:

$$\rho_{nước} V_{chìm} \geq P_{Robot} \quad (1)$$

Khối lượng toàn bộ linh kiện và các thiết bị lắp trên phao dự kiến khoảng 12kg. Như vậy  $P_{Robot} = 120N$ ; khối lượng riêng của nước:  $\rho_{nước} = 10000N/m^3$ .

Thay số vào ta xác định được  $V_{chìm} = \frac{240}{10000} = 0,024m^3$

Để Robot ổn định cần lắp 2 phao hai bên, do đó mỗi phao sẽ chịu một nửa thể tích chìm để tính toán:

$$V'_{chìm} = \frac{V_{chìm}}{2} = \frac{0,024}{2} = 0,012 m^3$$

Chọn chiều dài của phao là 0,6m khi đó xác định được tiết diện phao là hình chữ nhật có chiều dài 600mm; rộng 200mm và cao 200mm (giả sử phao chìm 50%).

### 2.4.2. Tính toán, lựa chọn động cơ truyền động chân vịt

Để Robot di chuyển được trên mặt nước thì lực đẩy của chân vịt phải đủ lớn. Lực đẩy được tính toán thông qua lực cản của nước khi Robot di chuyển. Giả sử robot di chuyển với vận tốc  $v = 1m/s$ , hệ số cản của nước  $C_d = 0,6$ , diện tích cản  $A = 0,02m^2$ , lực cản thủy động:

$$F_d = \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 = 0,5 * 1000 * 0,6 * 0,02 * 1^2 = 6N$$

=> Lực đẩy yêu cầu  $F_{yc} = 6 * 2 = 12N$ . Công suất trục cần thiết (hiệu quả chân vịt 0.6):  $P = \frac{F_{yc} * v}{\eta} = \frac{12 * 1}{0,6} = 20W$ .

Như vậy để đảm bảo công suất và kích thước nhỏ gọn, phù hợp với nguồn điện từ pin mặt trời, chúng em lựa chọn động cơ điện 1 chiều 12V loại RS-755 để truyền động trực tiếp cho trục cánh vịt di chuyển của Robot.

### 2.4.3. Tính toán, lựa chọn động cơ truyền động đĩa thu gom dầu

Sử dụng động cơ JGB-37 được sử dụng để quay 8 bánh tách dầu nhờ khả năng cung cấp mô-men xoắn cao và tốc độ ổn định. Bán kính mỗi bánh là:  $r = 50mm = 0.05m$

Tốc độ tuyến tính mong muốn tại mép bánh:  $v = 0.2 m/s$

Khi đó, tốc độ quay của bánh được tính theo công thức:

$$n = \frac{v}{2 * \pi * r} * 60 = \frac{0.2}{2 * \pi * 0.05} * 60 = 38.2 \text{ vòng/phút}$$

Lực kéo cần thiết tại mép mỗi bánh để kéo dầu là  $F = 1.5N$ , mô-men của một bánh là:  $T_1 = F * r = 1.5 * 0.05 = 0.075N/m$

Tổng mô-men cho 8 bánh:  $T_{tổng} = 8 * T_1 = 0.6N/m$

Công cơ học tại trục bánh:  $A = T_{tổng} * \omega = 0.6 * 2\pi * \frac{38.2}{60} = 2.4W$

Xét hiệu suất cơ khí và điện ước lượng là 0.6 hiệu suất  $\eta_{gb} = 0.8$ , từ đó công suất điện cần thiết là:

$$P_{điện} = \frac{A}{n_{gb} \cdot n_m} = \frac{2.4}{0.8 \cdot 0.6} = 5W.$$

#### 2.4.4. Tính toán, lựa chọn bơm dầu

Lựa chọn 2 máy bơm mini 12V để thực hiện nhiệm vụ hút dầu vào thùng chứa và hút dầu ra khỏi thùng chứa, thay thế cho việc dùng động cơ DC thuần.

Giả sử lưu lượng cần thiết của mỗi bơm là:  $Q = 1 \frac{L}{phút} = 1,67 * 10^{-5} m^3/s$

Chiều cao cột áp tương đương cần vượt qua (bao gồm tổn hao đường ống và chênh cao mức chất lỏng):  $H = 1,2m$

### 3. THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO ROBOT

Robot được thiết kế theo dạng mô-đun gồm khung nổi, hệ thống thu gom dầu, thùng chứa dầu, hệ thống truyền động và các mạch điều khiển điện tử.

Khung robot được chế tạo từ vật liệu nhẹ nhằm bảo đảm khả năng nổi và thuận lợi cho việc lắp đặt các bộ phận chức năng. Phía trước robot bố trí tám bánh quay thực hiện nhiệm vụ thu gom dầu trên bề mặt nước. Dầu được dẫn vào hai thùng chứa riêng biệt đặt trên thân robot.

Hệ thống điều khiển được thiết kế theo mô hình các khối chức năng gồm khối nguồn, khối cảm biến, mô-đun GPS, khối điều khiển trung tâm, khối chấp hành và khối truyền thông RF. Khối nguồn cung cấp điện năng cho toàn bộ hệ thống; khối cảm biến thực hiện giám sát mức dầu trong thùng chứa; mô-

Công suất thủy lực yêu cầu của bơm được tính theo công thức:

$$P = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

Trong đó  $\rho = \frac{850kg}{m^3}$ ,  $g = 9,81m/s^2$

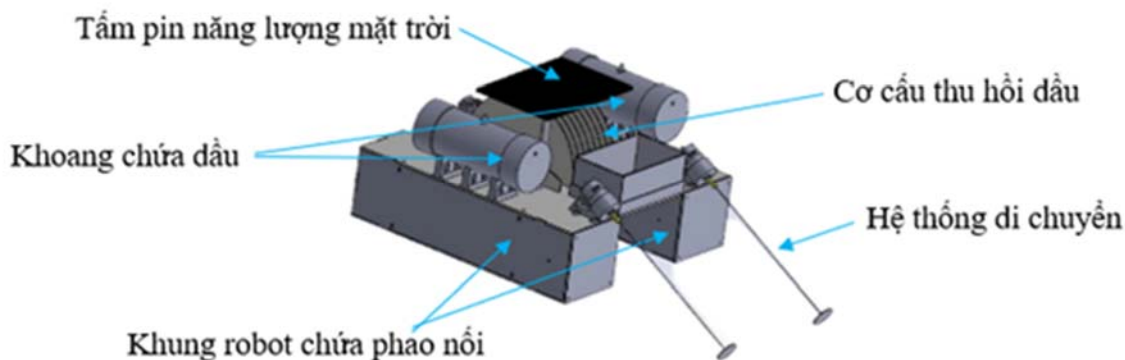
$$P = 850 * 9,81 * 1,67 * 10^{-5} * 1.2 = 0,167W$$

Xét đến hiệu suất toàn phần của bơm và động cơ ( $\eta = 0,4$ ), công suất điện cần cấp:

$$P_{điện} = \frac{P}{\eta} = \frac{0,167}{0,4} \approx 0,42 W$$

đun GPS cung cấp dữ liệu vị trí; khối điều khiển trung tâm tiếp nhận và xử lý dữ liệu; khối chấp hành điều khiển động cơ và bơm; trong khi khối RF đảm nhiệm việc truyền nhận dữ liệu giữa robot và tay điều khiển.

Chương trình điều khiển robot được xây dựng theo nguyên tắc hoạt động tuần hoàn. Sau khi khởi tạo hệ thống, robot tiếp nhận lệnh từ tay điều khiển thông qua mô-đun NRF24L01, đồng thời thực hiện đọc dữ liệu từ cảm biến mức dầu, mô-đun GPS và hệ thống giám sát nguồn điện. Trên cơ sở các dữ liệu thu thập được, bộ điều khiển sẽ thực hiện điều khiển động cơ di chuyển, hệ thống thu gom dầu và bơm hút dầu. Các thông số vận hành được gửi định kỳ về tay điều khiển để hiển thị trên màn hình HMI và cập nhật lên Google Sheet phục vụ giám sát và lưu trữ dữ liệu.



Hình 1. Sơ đồ cấu tạo Robot lọc vớt dầu chạy bằng năng lượng mặt trời



Hình 2. Vận hành thử nghiệm Robot lọc vớt dầu chạy bằng năng lượng mặt trời

#### 4. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Sau quá trình thiết kế, chế tạo và lắp ráp, robot đã được đưa vào thử nghiệm trong môi trường mô phỏng.

Kết quả cho thấy robot có khả năng nổi ổn định trên mặt nước nhờ hệ thống phao nổi và thiết kế cân bằng trọng tâm. Robot có thể di chuyển theo các hướng điều khiển và duy trì trạng thái hoạt động ổn định trong quá trình vận hành.

Hệ thống thu gom dầu hoạt động theo đúng nguyên lý thiết kế, đưa dầu từ mặt nước vào thùng chứa và thực hiện tách nước trước khi lưu trữ. Các bộ phận cơ khí và điện tử hoạt động đồng bộ trong quá trình thử nghiệm.

Hệ thống điều khiển từ xa sử dụng NRF24L01 cho phép truyền nhận dữ liệu giữa robot và tay điều khiển. Màn hình HMI hiển thị các thông tin về trạng thái hoạt động, tọa độ GPS và mức dầu trong thùng chứa. Hệ thống camera FPV hỗ trợ quan sát hiện trường thông qua hình ảnh truyền về với độ trễ thấp.

Ngoài ra, dữ liệu vận hành của robot được cập nhật định kỳ lên Google Sheet nhằm phục vụ việc theo dõi và lưu trữ thông tin. Việc tích hợp tấm pin năng lượng mặt trời giúp hỗ trợ nguồn điện và kéo dài thời gian hoạt động của hệ thống.



Hình 3. Vận hành thử nghiệm Robot lọc vớt dầu chạy bằng năng lượng mặt trời trong điều kiện thực tế

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo thành công mô hình robot lọc vớt dầu trên mặt nước có khả năng điều khiển từ xa, giám sát hoạt động thông qua hệ thống camera FPV, GPS và màn hình HMI. Robot thực hiện được các chức năng nổi, di chuyển, thu gom dầu và truyền dữ liệu vận hành về thiết bị điều khiển.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. ESP32 Pinout Reference: Which GPIO Pins Should You Use?. Available: <https://randomnerdtutorials.com/esp32-pinout-reference-gpios/>
2. Arduino Việt Nam (2014), *Làm quen với Arduino IDE*. Available: <http://arduino.vn/reference/getting-started/step3a>

Kết quả nghiên cứu cho thấy tiềm năng ứng dụng của công nghệ robot trong hỗ trợ xử lý ô nhiễm dầu trên mặt nước. Trong tương lai, hệ thống có thể tiếp tục được hoàn thiện theo hướng nâng cao hiệu suất thu gom dầu, tăng khả năng hoạt động trong điều kiện môi trường phức tạp và tích hợp các chức năng tự động hóa nhằm mở rộng khả năng ứng dụng thực tiễn.

3. Nguyễn Khuê, *Học Altium từ A tới Z cho sinh viên điện tử*. Available: <https://khuenguyencreator.com/hoc-altium-tu-a-toi-z-cho-sinh-vien/>

4. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, *Các giải pháp xử lý tràn dầu trên biển*. Available: <https://mtb.vimaru.edu.vn/bai-viet/cac-giai-phap-xu-ly-tran-dau-tren-bien>

5. Tạ Văn Hòa (2018), *Vật lý đại cương 1*, NXB Bách khoa Hà Nội.

- Ngày gửi bài: 27/04/2026
- Ngày phản biện: 25/05/2026
- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026

## NGHIÊN CỨU KINH NGHIỆM QUỐC TẾ TRONG PHÁT TRIỂN CƠ GIỚI HÓA NÔNG NGHIỆP VÀ ĐỀ XUẤT BÀI HỌC KINH NGHIỆM CHO VIỆT NAM

Vũ Huy Phúc, Nguyễn Thị Thu Trang, Đỗ Văn Hào<sup>1</sup>

### TÓM TẮT

Cơ giới hóa nông nghiệp là một trong những trụ cột quan trọng của quá trình hiện đại hóa nông nghiệp, góp phần nâng cao năng suất lao động, giảm chi phí sản xuất, cải thiện điều kiện làm việc của nông dân và thúc đẩy tái cơ cấu ngành nông nghiệp theo hướng bền vững. Trong bối cảnh Việt Nam đang đẩy mạnh phát triển các vùng sản xuất hàng hóa tập trung và chuyển đổi mô hình tăng trưởng nông nghiệp, việc nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế về phát triển cơ giới hóa đồng bộ có ý nghĩa thiết thực cả về lý luận và thực tiễn.

Bài báo này phân tích kinh nghiệm phát triển cơ giới hóa nông nghiệp của một số quốc gia châu Á tiêu biểu gồm Trung Quốc, Thái Lan, Hàn Quốc và Nhật Bản, tập trung làm rõ quá trình phát triển, hệ thống chính sách, mô hình tổ chức dịch vụ cơ giới hóa và các giải pháp thúc đẩy cơ giới hóa đồng bộ trong chuỗi sản xuất nông nghiệp. Trên cơ sở đó, bài báo rút ra một số bài học kinh nghiệm và đề xuất định hướng chính sách nhằm thúc đẩy phát triển cơ giới hóa nông nghiệp phù hợp với điều kiện sản xuất nông nghiệp Việt Nam trong giai đoạn tới.

**Từ khóa:** cơ giới hóa nông nghiệp; kinh nghiệm quốc tế; cơ giới hóa đồng bộ; chính sách nông nghiệp; Việt Nam.

### GLOBAL EXPERIENCE IN AGRICULTURAL MECHANIZATION DEVELOPMENT AND POLICY LESSONS FOR VIET NAM

#### ABSTRACT

Agricultural mechanization plays a crucial role in the modernization of agriculture by improving labor productivity, reducing production costs, enhancing farmers' working conditions, and supporting sustainable agricultural transformation. In the context of Viet Nam's ongoing efforts to develop large-scale commodity production areas and restructure its agricultural sector, studying international experiences in integrated agricultural mechanization is of both theoretical and practical significance.

This paper analyzes international experiences in agricultural mechanization development in selected Asian countries, including China, Thailand, the Republic of Korea, and Japan. The analysis focuses on development trajectories, policy frameworks, mechanization service models, and key solutions for promoting integrated mechanization along agricultural value chains. Based on these experiences, the paper draws policy lessons and proposes strategic orientations to promote agricultural mechanization in Viet Nam, taking into account the country's specific production conditions and development objectives in the coming period.

**Keywords:** agricultural mechanization; international experience; integrated mechanization; agricultural policy; Viet Nam.

### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

#### 1.1. Tính cấp thiết

Trong bối cảnh toàn cầu hóa sâu rộng và biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng, nông nghiệp Việt Nam đang đối mặt với nhiều thách thức mang tính cơ cấu như thiếu hụt lao động nông thôn, chi phí sản xuất tăng cao, quy mô đất đai manh mún, đồng thời chịu áp lực ngày càng lớn từ thị trường trong và ngoài nước về chất lượng, an toàn thực phẩm và truy xuất nguồn gốc. Trong bối cảnh đó, cơ giới hóa nông nghiệp được xác định là giải pháp then chốt nhằm nâng cao năng suất lao động, hiệu quả sản xuất và sức cạnh tranh của ngành nông nghiệp.

Trong những năm qua, cùng với sự tăng trưởng của ngành nông nghiệp, cơ giới hóa tại Việt Nam đã có những bước phát triển đáng kể. Mức trang bị máy động lực bình quân tăng từ 2,59 HP/ha năm 2014 lên 3,1 HP/ha năm 2020; tỷ lệ áp dụng máy móc ở nhiều khâu sản xuất có xu hướng gia tăng rõ rệt. Việc mở rộng sử dụng máy móc, thiết bị đã góp phần giảm tổn thất, giảm chi phí đầu vào, nâng cao chất lượng sản phẩm và giúp tăng lợi nhuận cho người sản xuất khoảng 20–30% so với mô hình sản xuất ít hoặc không áp dụng cơ giới hóa (IPSARD, 2021).

Tuy nhiên, quá trình cơ giới hóa nông nghiệp tại Việt Nam vẫn bộc lộ nhiều hạn chế, thể hiện ở mức độ cơ giới hóa chưa đồng

<sup>1</sup> Viện Chiến lược, Chính sách Nông nghiệp và Môi trường

đều giữa các vùng, các ngành hàng và các khâu trong chuỗi sản xuất, đặc biệt là khâu sau thu hoạch, bảo quản và chế biến; bên cạnh đó còn thiếu tính đồng bộ giữa thiết bị, hạ tầng, tổ chức sản xuất và cơ chế chính sách hỗ trợ. Thực tiễn cho thấy, mặc dù Việt Nam đã có nhiều nghiên cứu về cơ giới hóa, song phần lớn mới dừng ở đánh giá mức độ trang bị hoặc hiệu quả riêng lẻ của từng khâu, trong khi các kinh nghiệm quốc tế về tổ chức cơ giới hóa đồng bộ theo vùng nguyên liệu, theo chuỗi giá trị, gắn với tích tụ đất đai, dịch vụ cơ giới hóa, chuyên đổi số và chính sách hỗ trợ tổng thể vẫn chưa được hệ thống hóa đầy đủ và vận dụng hiệu quả trong điều kiện Việt Nam.

Do đó, việc tiếp tục nghiên cứu kinh nghiệm quốc tế không nhằm lặp lại các nghiên cứu trước, mà nhằm nhận diện và chắt

## II. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng phương pháp nghiên cứu định tính kết hợp với phân tích tổng hợp. Dữ liệu thứ cấp được thu thập từ các báo cáo, thống kê chính thức của các cơ quan quản lý nhà nước, tổ chức quốc tế, các công trình nghiên cứu khoa học và bài báo chuyên ngành liên quan đến cơ giới hóa nông nghiệp tại Trung Quốc, Thái Lan, Hàn Quốc và Nhật Bản.

Phương pháp phân tích so sánh được sử dụng nhằm làm rõ sự khác biệt về lộ trình phát triển, khung chính sách và mô hình tổ chức cơ giới hóa nông nghiệp giữa các quốc gia. Trên cơ sở đó, phương pháp tổng hợp và suy luận logic được áp dụng để chắt lọc các bài học kinh nghiệm có giá trị tham khảo và đề xuất định hướng chính sách phù hợp với điều kiện kinh tế – xã hội và đặc thù sản xuất nông nghiệp của Việt Nam.

Việc lựa chọn Trung Quốc, Nhật Bản, Hàn Quốc và Thái Lan làm đối tượng nghiên cứu được thực hiện có chủ đích, dựa trên các tiêu

## III. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

### 3.1. Kinh nghiệm phát triển cơ giới hóa của một số nước trên thế giới

lọc những mô hình, công cụ chính sách và cách tiếp cận mới, đã được kiểm chứng trong thực tiễn, nhưng chưa được khai thác hoặc áp dụng phù hợp tại Việt Nam. Đây là cơ sở quan trọng để hoàn thiện khung chính sách, tổ chức sản xuất và xây dựng lộ trình phát triển cơ giới hóa nông nghiệp đồng bộ, hiệu quả và bền vững trong giai đoạn tới.

#### 1.2. Mục đích nghiên cứu

Mục đích của nghiên cứu là: (i) Tổng hợp và phân tích kinh nghiệm phát triển cơ giới hóa nông nghiệp của một số quốc gia điển hình; (ii) Làm rõ các yếu tố chính sách, thể chế và mô hình tổ chức thúc đẩy cơ giới hóa đồng bộ; (iii) Rút ra bài học kinh nghiệm và đề xuất định hướng, giải pháp chính sách nhằm thúc đẩy cơ giới hóa nông nghiệp ở Việt Nam trong giai đoạn tới.

chí: (i) có điều kiện tự nhiên, cơ cấu sản xuất và đặc điểm canh tác (quy mô hộ nhỏ, thâm canh lúa nước, đa dạng cây trồng) tương đồng hoặc có khả năng so sánh với Việt Nam; (ii) đã trải qua các giai đoạn phát triển cơ giới hóa khác nhau, từ cơ giới hóa quy mô hộ đến cơ giới hóa đồng bộ theo vùng và theo chuỗi giá trị; (iii) có hệ thống chính sách, mô hình tổ chức và dịch vụ cơ giới hóa đa dạng, đã được kiểm chứng trong thực tiễn; và (iv) có mối quan hệ hợp tác, trao đổi công nghệ và đầu tư sâu rộng với Việt Nam, nên khả năng tiếp thu và vận dụng kinh nghiệm là tương đối khả thi.

Mặc dù các quốc gia này đã được nhiều nghiên cứu đề cập, song các nghiên cứu trước chủ yếu tập trung vào từng quốc gia hoặc từng khía cạnh riêng lẻ. Nghiên cứu này tiếp cận theo hướng so sánh liên quốc gia, đặt trong bối cảnh phát triển vùng nguyên liệu tập trung và cơ giới hóa đồng bộ theo chuỗi giá trị, qua đó bổ sung những góc nhìn tổng hợp và các bài học chính sách chưa được khai thác đầy đủ trong các nghiên cứu trước đây.

#### 3.1.1. Trung Quốc

Trung Quốc là quốc gia có quy mô nông nghiệp rất lớn, điều kiện tự nhiên và kinh tế – xã hội đa dạng, do đó quá trình cơ giới hóa

nông nghiệp diễn ra không đồng đều theo vùng và theo khâu sản xuất, nhưng đạt được nhiều thành tựu quan trọng nhờ định hướng chính sách mạnh mẽ của Nhà nước. Đến năm 2021, mức độ cơ giới hóa các khâu sản xuất cây trồng chính đạt tương đối cao: làm đất 86,42%, gieo trồng 60,22%, chăm sóc 64,66% và thu hoạch 72,03%. Đối với các cây trồng chủ lực như lúa mì, ngô, lúa gạo và bông, tỷ lệ cơ giới hóa toàn bộ quá trình sản xuất đến thu hoạch đạt từ 85–97% (Bộ Nông nghiệp Trung Quốc, 2021).

Quy mô trang bị máy móc nông nghiệp của Trung Quốc thuộc nhóm lớn nhất thế giới. Năm 2021, tổng công suất máy nông nghiệp đạt 1,078 tỷ kW; cả nước có hơn 21,7 triệu máy kéo và trên 40 triệu nông cụ hỗ trợ. Đặc biệt, xu hướng cơ giới hóa thông minh phát triển nhanh với hơn 600.000 máy kéo và máy gặt đập liên hợp được trang bị thiết bị định vị vệ tinh, gần 98.000 máy bay không người lái phục vụ phun thuốc bảo vệ thực vật (Bộ Nông nghiệp Trung Quốc, 2021). Song song với đó, Trung Quốc hình thành mạng lưới dịch vụ cơ giới hóa rộng khắp với hàng trăm nghìn doanh nghiệp, hợp tác xã và hộ gia đình cung cấp dịch vụ, cùng lực lượng lao động vận hành và bảo trì máy móc quy mô lớn.

Về chính sách, tiến trình cơ giới hóa nông nghiệp của Trung Quốc có thể chia thành năm giai đoạn chính. Giai đoạn 1949–1978 là thời kỳ hình thành nền tảng, với việc xây dựng các nhà máy sản xuất máy nông nghiệp và hệ thống trạm máy kéo thuộc sở hữu nhà nước; tuy nhiên mô hình kế hoạch hóa tập trung bộc lộ nhiều hạn chế (Nickum, 1979; Vương và cộng sự, 2016). Giai đoạn 1978–1995 đánh dấu cải cách thể chế sâu rộng, cho phép nông dân mua và vận hành máy móc, từng bước tự do hóa ngành công nghiệp máy nông nghiệp và mở rộng vai trò của thị trường (Bai & Kung, 2014; Chen & Lan, 2020). Đến năm 1994, khu vực tư nhân sở hữu 79% giá trị tài sản máy nông nghiệp (Qiao, 2017).

Giai đoạn 1996–2003, cơ giới hóa phát triển theo định hướng thị trường trong bối

cảnh công nghiệp hóa và đô thị hóa nhanh, thiếu hụt lao động nông thôn làm gia tăng nhu cầu máy móc. Tổng công suất máy tăng mạnh, diện tích làm đất và thu hoạch bằng cơ giới tăng đáng kể (Bộ Nông nghiệp Trung Quốc, 2021). Giai đoạn 2004–2014 là thời kỳ bứt phá, gắn với Luật Xúc tiến Máy nông nghiệp (2004) và chính sách trợ cấp trực tiếp mua máy cho nông dân, tạo động lực lớn cho phổ cập cơ giới hóa (Lopez và cộng sự, 2017). Từ năm 2014 đến nay, Trung Quốc bước sang giai đoạn quản lý quy mô, thúc đẩy tích tụ đất đai, phát triển dịch vụ cơ giới hóa và cơ giới hóa đồng bộ theo chuỗi sản xuất. Đến năm 2019, mức cơ giới hóa cây trồng toàn diện đạt 67%, với mục tiêu 75% vào năm 2025 (Bộ Nông nghiệp Trung Quốc, 2021).

Đề đẩy mạnh cơ giới hóa, Trung Quốc triển khai đồng bộ nhiều giải pháp. Trợ cấp mua máy giúp thúc đẩy áp dụng cơ giới hóa nhưng cũng bộc lộ hạn chế về mức hỗ trợ và hiệu quả phân bổ (Huang và cộng sự, 2013). Cải cách chính sách đất đai từ năm 2014, với việc tách quyền sở hữu, hợp đồng và quản lý, tạo điều kiện cho tích tụ ruộng đất và áp dụng máy móc quy mô lớn (Zhou và cộng sự, 2020). Đồng thời, Trung Quốc áp dụng chiến lược máy phù hợp quy mô, kết hợp máy nhỏ cho nông hộ với dịch vụ cho thuê máy, đặc biệt hiệu quả đối với nông dân sản xuất nhỏ (Trương và cộng sự, 2017; Belton và cộng sự, 2021). Các mô hình dịch vụ cơ giới hóa đa dạng, từ HTX, doanh nghiệp đến dịch vụ liên vùng, góp phần nâng cao khả năng tiếp cận máy móc và thúc đẩy cơ giới hóa đồng bộ trên phạm vi toàn quốc.

### 3.1.2. Thái Lan

Nông nghiệp giữ vai trò quan trọng trong nền kinh tế Thái Lan, vừa tạo việc làm cho tỷ lệ lớn dân cư nông thôn vừa là ngành xuất khẩu nông sản chủ lực. Với khoảng 21 triệu ha đất tự nhiên, chiếm 40,9% diện tích cả nước, gần một nửa dân số Thái Lan tham gia sản xuất nông nghiệp. Trong đó, đất trồng lúa chiếm gần 50%, còn lại là cây trồng đồng ruộng, cây ăn quả và các loại cây trồng khác

(Fengchow C. Ma, 2020). Trong bối cảnh thiếu hụt lao động nông thôn và yêu cầu giảm chi phí sản xuất, cơ giới hóa trở thành yếu tố then chốt trong quá trình hiện đại hóa nông nghiệp Thái Lan.

Cơ giới hóa nông nghiệp tại Thái Lan phát triển theo hướng phổ cập rộng rãi nhưng dựa chủ yếu vào dịch vụ thuê máy, thay vì sở hữu máy của từng hộ nông dân. Khoảng 83% hoạt động cơ giới hóa được thực hiện thông qua các đơn vị cung cấp dịch vụ, bao gồm cá nhân, tổ chức và doanh nghiệp; số lượng hợp tác xã và hộ sở hữu máy móc không lớn. Các loại máy nông nghiệp phổ biến gồm máy cày hai bánh, máy kéo lớn, máy bơm nước, máy gieo hạt và máy gặt đập liên hợp, với tốc độ tăng trưởng nhanh trong giai đoạn cuối thế kỷ XX (Hà Dương, 2023). Hiện nay, tỷ lệ cơ giới hóa các khâu làm đất, gieo cấy và thu hoạch lúa lần lượt đạt khoảng 95%, 75% và 70%; đến năm 2023, trên 90% nông dân Thái Lan đã áp dụng cơ giới hóa đồng bộ từ gieo trồng đến thu hoạch.

Quá trình phát triển cơ giới hóa nông nghiệp của Thái Lan gắn liền với tiến trình hình thành ngành công nghiệp máy nông nghiệp trong nước. Từ cuối thế kỷ XIX đến giữa thế kỷ XX, máy móc chủ yếu được nhập khẩu và thử nghiệm tại các trạm lúa; sau đó, các xưởng địa phương từng bước đơn giản hóa thiết kế và nội địa hóa sản xuất. Từ thập niên 1960–1970, các hãng nước ngoài như Ford và Massey Ferguson thiết lập dây chuyền lắp ráp máy kéo bốn bánh tại Thái Lan; đồng thời, các doanh nghiệp trong nước bắt đầu sản xuất máy xới điện và máy gặt lúa. Từ thập niên 1990 trở đi, cơ giới hóa được nhấn mạnh trong các Kế hoạch phát triển kinh tế quốc gia (NEDP), đặc biệt nhằm thay thế lao động thủ công và nâng cao năng suất (Peeyush Soni, 2016).

Mặc dù phần lớn máy móc nông nghiệp sử dụng tại Thái Lan được sản xuất trong nước, ngành công nghiệp này vẫn chủ yếu gồm các cơ sở nhỏ lẻ, hạn chế về chất lượng và độ bền sản phẩm. Một số loại máy hiện đại vẫn phải

nhập khẩu, chủ yếu từ Trung Quốc, Nhật Bản, Ấn Độ và Hoa Kỳ; giá trị nhập khẩu máy nông nghiệp tăng khoảng 23,53% giai đoạn 2017–2022, trong khi xuất khẩu tăng 17,48%, dẫn đến thâm hụt thương mại (Kriengkri Kaewtrakulpong và các cộng sự, 2023). Tuy nhiên, vị thế trung tâm khu vực ASEAN giúp Thái Lan duy trì vai trò quan trọng trong chuỗi cung ứng máy móc và phụ tùng nông nghiệp.

Về chính sách, Thái Lan không ban hành một chính sách cơ giới hóa nông nghiệp riêng biệt mà lồng ghép nội dung này trong các chiến lược phát triển nông nghiệp tổng thể. Từ năm 1979, Ủy ban Cơ giới hóa Nông nghiệp Quốc gia được thành lập; các chiến lược nhấn mạnh hợp tác công – tư trong nghiên cứu và phát triển, tiêu chuẩn hóa máy móc, đào tạo nông dân và cung cấp tín dụng dài hạn (Hnin Ei Win, 2017). Giai đoạn gần đây, trong khuôn khổ Chiến lược Thái Lan 4.0, cơ giới hóa được định hướng theo hướng thông minh và bền vững, gắn với ứng dụng công nghệ số, cảm biến, tự động hóa và mô hình kinh tế sinh học, tuần hoàn và xanh (NSTDA, 2021). Cách tiếp cận này phản ánh sự chuyển dịch từ cơ giới hóa truyền thống sang nông nghiệp hiện đại dựa trên đổi mới công nghệ và dịch vụ.

### 3.1.3. Hàn Quốc

Hàn Quốc là một ví dụ điển hình về quốc gia cơ giới hóa nông nghiệp muộn nhưng đạt tốc độ phát triển rất nhanh và mức độ đồng bộ cao. Quá trình cơ giới hóa nông nghiệp của Hàn Quốc thường được chia thành ba giai đoạn: (i) giai đoạn 1960–1970, tập trung cơ giới hóa khâu làm đất; (ii) giai đoạn 1971–1980, mở rộng cơ giới hóa các khâu phổ biến với sự phát triển của máy kéo tay, máy bơm nước và máy đập lúa; và (iii) từ năm 1981 đến nay, phát triển cơ giới hóa đồng bộ toàn bộ chuỗi sản xuất, không chỉ đối với lúa mà còn mở rộng sang cây ăn quả, rau màu, chăn nuôi và làm vườn.

Trước năm 1960, sản xuất nông nghiệp Hàn Quốc chủ yếu dựa vào lao động thủ công

và sức kéo động vật. Từ thập niên 1970–1980, quá trình công nghiệp hóa và đô thị hóa đã làm gia tăng mạnh mẽ tình trạng di cư lao động từ nông thôn ra thành thị, dẫn đến thiếu hụt lao động nông nghiệp và chi phí nhân công tăng cao. Đây là động lực trực tiếp thúc đẩy việc ứng dụng máy móc thay thế lao động thủ công, đặc biệt trong các thời vụ khẩn trương. Đầu những năm 1970, máy kéo tay và các thiết bị kèm theo được phổ biến; cuối thập niên này, máy cấy và máy gặt đập liên hợp bắt đầu được sử dụng rộng rãi. Đến thập niên 1980, khoảng 30% công việc sản xuất lúa đã được cơ giới hóa; sang thập niên 1990, hầu như toàn bộ các khâu canh tác lúa đã được cơ giới hóa. Theo thống kê năm 2006, cơ giới hóa khâu làm đất đạt 99%, cấy 98%, phun thuốc bảo vệ thực vật 100%, thu hoạch 99% và sảy 53% (Hà Đức Hồ, 2015).

Vai trò định hướng và hỗ trợ của Nhà nước được thể hiện rõ nét. Tháng 12/1978, Hàn Quốc ban hành Luật khuyến khích cơ giới hóa nông nghiệp; từ năm 1980 bắt đầu sử dụng máy gặt đập liên hợp và máy sảy; đến đầu những năm 1990 đạt mức cơ giới hóa đồng bộ cao với hầu hết các khâu đạt 95–100%. Quá trình này gắn liền với phát triển công nghiệp chế tạo máy nông nghiệp trong nước. Giai đoạn đầu, Hàn Quốc thực hiện liên doanh với các nước như Nhật Bản để chế tạo động cơ và máy kéo nhỏ, sau đó từng bước nội địa hóa và tự sản xuất các loại máy chủ lực (Vũ Anh Tuấn, 2020). Đến năm 1986, công nghiệp trong nước đã có thể chế tạo hoàn toàn các loại máy phức tạp như máy kéo bốn bánh và máy gặt đập liên hợp, không chỉ đáp ứng nhu cầu trong nước mà còn xuất khẩu (Hà Đức Hồ, 2015).

Hàn Quốc là quốc gia châu Á sớm xây dựng chiến lược tổng thể về cơ giới hóa dựa trên hệ thống máy quy mô nhỏ phù hợp với điều kiện đất đai manh mún. Chính phủ áp dụng chính sách hỗ trợ tài chính mạnh mẽ, cho vay 60% và trợ cấp 40% giá mua máy, thời hạn vay 5 năm, lãi suất 6%/năm (Lee Donghyeon, 2003). Nhờ đó, tốc độ trang bị

máy móc tăng nhanh: số lượng máy kéo nhỏ giai đoạn 1961–1994 tăng 28 lần; đầu thập niên 1990 đạt mức 10 HP/ha. Trong điều kiện đất đai hạn chế và giá lao động cao, nông nghiệp Hàn Quốc từ những năm 1990 chuyển mạnh sang công nghệ cao, phát triển sản xuất trong nhà kính với thiết bị điện tử tự động hóa. Số nhà kính tăng từ 13.700 chiếc năm 1992 lên 33.800 chiếc năm 1994; công nghiệp chế biến nông sản cũng phát triển nhanh với gần 5.000 doanh nghiệp (Hà Đức Hồ, 2015).

Theo điều tra toàn quốc, đến năm 2013, cơ giới hóa làm đất đạt 100%, cấy 99,9%, phun thuốc 99%, thu hoạch 99,9% và sảy 90,1%; tuy nhiên, ở vùng cao tỷ lệ cơ giới hóa thấp hơn đáng kể (Byounggap Kim, 2013). Tính đến năm 2020, tỷ lệ cơ giới hóa nông nghiệp đồng ruộng đạt 61,9% (Vũ Anh Tuấn, 2020). Mức trang bị máy trên 100 ha của Hàn Quốc (1.239 chiếc) thuộc nhóm cao nhất châu Á, chỉ sau Nhật Bản, cho thấy hiệu quả của chiến lược cơ giới hóa đồng bộ gắn với chính sách tài chính, công nghiệp và hạ tầng nông thôn.

### 3.1.4. Nhật Bản

Nhật Bản là trường hợp điển hình về phát triển cơ giới hóa trong điều kiện quy mô ruộng đất nhỏ, tương đồng với Việt Nam. Cơ giới hóa ở Nhật không đi theo hướng “máy lớn ngay từ đầu”, mà phát triển theo lộ trình thích nghi: từ máy nhỏ phù hợp nông hộ, sau đó mở rộng sang máy kéo và máy gặt công suất cao hơn thông qua canh tác theo nhóm và tăng cường dịch vụ, hậu cần kỹ thuật. Cách tiếp cận này cho thấy cơ giới hóa vẫn có thể đạt hiệu quả cao trong bối cảnh đất đai manh mún nếu có lựa chọn công nghệ phù hợp và thể chế hỗ trợ đồng bộ.

Về tiến trình lịch sử, cơ giới hóa nông nghiệp Nhật Bản bắt đầu khoảng những năm 1920 khi động cơ nhỏ và động cơ điện được sản xuất và ứng dụng. Giai đoạn này đặc trưng bởi việc sử dụng động cơ dầu hỏa và điện cho các hoạt động cố định như bơm tưới và xay lúa; đồng thời một số công cụ truyền thống được thay thế dần bởi thiết bị bán cơ

giới, và hoạt động làm đất chuyển từ lao động thủ công sang sức kéo động vật. Đến thập niên 1930, một số hoạt động bán cố định như phun thuốc và đập lúa bắt đầu cơ giới hóa (C.H. Lee và các cộng sự, 1999). Giai đoạn 1936–1950 chứng kiến việc sử dụng sức kéo động vật phổ biến trong chuẩn bị đất và canh tác; sau năm 1945, máy tuốt lúa chuyển từ thủ công sang chạy điện, góp phần cải thiện đáng kể cơ giới hóa khâu đập lúa (C.H. Lee và các cộng sự, 1999).

Sau chiến tranh, cơ giới hóa tăng tốc nhờ sự ra đời của máy móc dùng năng lượng mới và đặc biệt được hỗ trợ bởi Luật Khuyến khích Cơ giới hóa Nông nghiệp năm 1953. Máy xới đất xuất hiện khoảng năm 1950, tạo bước nhảy trong cơ giới hóa khâu làm đất; máy kéo dân phổ biến và một phần được nhập khẩu. Cuối những năm 1960, máy cấy nhỏ chạy xăng được phát minh với thiết kế gọn, phù hợp đồng ruộng nhỏ; động cơ xăng nhỏ cũng hỗ trợ các thiết bị phục vụ thu hoạch và đập lúa. Từ thập niên 1960–1970, cùng với sự phổ biến của máy kéo, nhập khẩu và sản xuất trong nước các loại máy làm việc, máy liên hợp tăng nhanh.

Dữ liệu trang bị phản ánh sự phổ cập mạnh: năm 1970 có 29.000 máy cấy; đến 1980 có 1.740.000 máy; đến 1989 trung bình cứ 2 ha ruộng có một máy cấy. Tỷ lệ sở hữu máy cấy tăng từ 2,7% (1970) lên 23% (1974). Nhật Bản cũng chuyển từ máy tuốt sang máy gặt đập liên hợp; đến năm 1990 có khoảng 300 máy liên hợp/1.000 ha. Thu hoạch liên hợp giúp giảm thất thoát, nâng chất lượng hạt và giảm tổn thất xay xát. Tính đến năm 2002, Nhật Bản có số lượng máy gặt/máy tuốt đang sử dụng cao nhất (1.042.000 chiếc), và đứng đầu châu Á về chỉ số cơ giới hóa nhờ các chính sách thúc đẩy trong giai đoạn này (Dongpo Li và cộng sự, 2022).

Về chính sách, Nhật Bản xây dựng khung pháp lý và thể chế nhất quán: Luật năm 1953 quy định kiểm tra máy, cải tiến nghiên cứu và thử nghiệm và đầu tư cho cơ giới hóa; sửa đổi năm 1962 cho phép thành lập Viện máy móc

nông nghiệp với đầu tư nhà nước và tư nhân; và năm 1965 triển khai chương trình giới thiệu máy hiệu quả cao nhằm tăng năng suất và cải thiện quản lý trang trại (C.H. Lee và các cộng sự, 1999). Các quỹ và chương trình tín dụng cũng được triển khai nhằm hỗ trợ nông dân mua máy và ứng dụng kỹ thuật mới (C.H. Lee và các cộng sự, 1999), đồng thời tăng cường hệ thống sửa chữa và bảo trì với mạng lưới cơ sở của HTX và thương mại (Hideo Kaburi, 2000). Giai đoạn sau, cơ giới hóa tiếp tục chuyển sang tự động hóa và nông nghiệp thông minh, ứng dụng robot, máy bay không người lái và các hệ thống điều khiển theo cảm biến (Daniel Citrin, 2021).

### **3.2. Đề xuất bài học kinh nghiệm cho Việt Nam**

Từ kinh nghiệm phát triển cơ giới hóa của các nước như Trung Quốc, Thái Lan, Nhật Bản và Hàn Quốc do phát triển đi lên từ nền sản xuất nông nghiệp quy mô nhỏ và phân tán với đặc trưng của từng vùng. Chính vì thế, Trung Quốc, Nhật Bản, Hàn Quốc có chính sách phát triển máy nông nghiệp quy mô nhỏ phù hợp với phần lớn diện tích đất canh tác vì hầu hết các diện tích đất canh tác đều nhỏ và manh mún và cần các loại máy quy mô nhỏ để tạo ra sản lượng cây trồng tối ưu. Trong khi đó, Thái Lan, Trung Quốc lại tập trung hơn vào các loại máy phù hợp với từng loại cây trồng và vùng miền.

#### **a) Hoàn thiện chính sách, pháp luật về quy định, quy chuẩn về cơ giới hóa**

- Việc hoàn thiện các chính sách pháp luật về cơ giới hóa là rất quan trọng để đảm bảo sự ổn định trong phát triển. Việt Nam có thể tham khảo kinh nghiệm của Trung Quốc và Nhật Bản để ban hành Luật riêng cho cơ giới hóa, mục tiêu là để hoàn thiện cơ sở pháp lý, điều chỉnh các mối quan hệ và là căn cứ cho các chính sách phát triển bền vững cơ giới hóa.

- Kinh nghiệm của các nước Hàn Quốc, Nhật Bản, Trung Quốc về luật pháp, chính sách trợ cấp và ưu đãi cho các nhà cung cấp dịch vụ cho thuê máy nông nghiệp tư nhân đều là những cơ chế hiệu quả để tăng cường

khả năng tiếp cận máy nông nghiệp cho nông dân sản xuất nhỏ.

- Các chính sách, Chiến lược hoặc Chương trình phát triển cơ giới hóa ban hành cần tích hợp mối quan hệ đất đai, lao động, máy móc vì quy mô đất nông nghiệp và nguồn cung lao động là rất cần thiết để thúc đẩy phát triển cơ giới hóa tham khảo kinh nghiệm thành công của Nhật Bản, Trung Quốc.

- Kinh nghiệm của các nước như: Trung Quốc, Nhật Bản, Hàn Quốc đổi mới về đất đai là chìa khóa để thúc đẩy sự phát triển nhanh chóng của cơ giới hóa trong nông nghiệp quy mô nhỏ. Đồng thời, máy nông nghiệp phù hợp với điều kiện địa phương như kích thước đất, độ dốc của đất, đặc điểm của đất, loại cây trồng hoặc với hiệu quả chi phí cho nông dân và tỷ lệ phát thải thấp.

- Ngoài ra, Chính phủ cần có kế hoạch phát triển cơ giới hóa nông nghiệp trong dài hạn, trong đó cần phân rõ các thời kỳ cần tập trung hoàn thiện giải quyết một số vấn đề hạn chế, có thể tham khảo kinh nghiệm của Thái Lan.

### ***b) Xây dựng và hình thành các đơn vị cung cấp dịch vụ cơ giới hóa chuyên nghiệp***

- Các nước Trung Quốc, Hàn Quốc đều rất chú trọng phát triển các HTX dịch vụ cho thuê máy, điều này cho phép nông dân sản xuất nhỏ tiếp cận máy móc theo nhu cầu của họ với giá cả hợp lý. Chính phủ và các tổ chức liên quan khác nên thực hiện các biện pháp để trao quyền cho các nhà cung cấp dịch vụ cơ giới hóa thông qua đó các ưu đãi hoặc các cơ chế hỗ trợ khác.

- Xem xét việc thành các tổ chức hỗ trợ cơ giới hóa ở tất cả các cấp. Điển hình như tại Trung Quốc, các tổ chức cơ giới hóa được thành lập từ cấp bộ xuống cấp huyện. Việc thành lập một thể chế mạnh sẽ cho phép Chính phủ có các chính sách và chiến lược rõ ràng và tập trung hơn.

- Các HTX nên đứng ra thực hiện các dịch vụ cho nông dân thuê máy móc cho phép nông dân sản xuất nhỏ tiếp cận máy móc theo yêu cầu của họ với mức giá hợp lý như kinh

nhệm của Hàn Quốc và Trung Quốc. Chính phủ và các tổ chức liên quan khác cần thực hiện các biện pháp để trao quyền cho các nhà cung cấp dịch vụ thông qua các biện pháp khuyến khích hoặc các cơ chế hỗ trợ tài chính.

- Chú trọng phát triển các dịch vụ bảo dưỡng, sửa chữa máy tại các vùng sản xuất. Đây là vấn đề rất quan trọng được các nước như Thái Lan, Trung Quốc và Hàn Quốc rất quan tâm phát triển.

### ***c) Tăng cường đầu tư cho nghiên cứu cải tiến công nghệ máy***

- Nền tảng của phát triển cơ giới hóa nên dựa vào hệ thống tự lực. Việc thành lập ngành sản xuất máy móc nông nghiệp trong nước/địa phương nên được ưu tiên phát triển cơ giới hóa. Chính phủ Việt Nam cần khuyến khích các nhà sản xuất địa phương thông qua các ưu đãi về vốn, khoa học công nghệ. Tiếp tục tăng cường nhập khẩu để tận dụng các thành tựu của các nước nhưng cần có sự tập trung vào nghiên cứu cải tiến để các loại máy phù hợp với điều kiện của Việt Nam. Tham khảo kinh nghiệm của Nhật Bản những năm 1960.

- Các cơ sở đào tạo như các trường đại học, viện nghiên cứu nên làm việc chặt chẽ với các đơn vị cung cấp dịch vụ, nông dân, các nhà hoạch định chính sách và các bên liên quan khác để tạo điều kiện cho việc giới thiệu nhanh chóng các máy nông nghiệp mới.

- Cần ưu tiên phát triển cơ giới hóa áp dụng công nghệ 4.0, tiến tới các công nghệ tự động hóa, nông nghiệp công nghệ cao. Chính phủ cần có chính sách hỗ trợ cho nghiên cứu các loại máy móc, thiết bị công nghệ tự động hóa, tối ưu hóa chi phí sản xuất.

### ***d) Tăng cường cho công tác đào tạo, an toàn lao động trong vận hành máy nông nghiệp***

Chính phủ cần xây dựng kế hoạch để tăng cường đào tạo nhân lực cho vận hành máy, đảm bảo an toàn lao động và tăng cường đào tạo, tập huấn cho bảo trì máy nông nghiệp. Trong quá trình phát triển các nước Trung Quốc, Thái Lan, Hàn Quốc và Nhật Bản đều xây dựng các chương trình đào tạo cho lao

động vận hành máy để giảm rủi ro tại nạn lao động gặp phải trong quá trình sản xuất.

#### IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

##### 4.1. Kết luận

Kinh nghiệm quốc tế cho thấy, cơ giới hóa nông nghiệp thành công không dựa trên một mô hình chung, mà là kết quả của sự kết hợp linh hoạt giữa chính sách nhà nước, điều kiện thị trường, năng lực công nghiệp và thể chế đặc thù của từng quốc gia. Các nước như Trung Quốc, Nhật Bản và Hàn Quốc đều xây dựng lộ trình cơ giới hóa gắn với quy mô sản xuất và hướng tới cơ giới hóa toàn bộ chuỗi sản xuất từ làm đất đến sau thu hoạch, song cách tiếp cận và động lực phát triển lại có sự khác biệt rõ rệt.

Tại Trung Quốc, quy mô thị trường máy nông nghiệp trong nước rất lớn, tạo điều kiện thuận lợi cho phát triển ngành công nghiệp chế tạo máy nông nghiệp theo hướng sản xuất hàng loạt, giảm giá thành và nhanh chóng phổ biến cơ giới hóa trên diện rộng. Trong khi đó, Nhật Bản có đặc thù là giá nông sản cao và mức độ bảo hộ nông nghiệp lớn, giúp nông dân có khả năng bù đắp chi phí đầu tư và tiếp cận các loại máy móc hiện đại, công nghệ cao dù giá thành lớn. Ở Hàn Quốc, cơ giới hóa nông nghiệp được thể chế hóa ở mức độ cao thông qua luật pháp và chiến lược quốc gia, với hệ thống

##### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ Nông nghiệp Trung Quốc (2021). *Thông cáo thống kê về phát triển cơ giới hóa nông nghiệp ở Trung Quốc năm 2021*.

<http://www.njhs.moa.gov.cn>

2. Bộ Nông nghiệp, Thực phẩm và Nông thôn Hàn Quốc (2020). *Kế hoạch cơ bản lần thứ 9 về cơ giới hóa nông nghiệp (2022–2026)*. Báo Máy nông nghiệp.

<http://alnews.co.kr>

3. Castella, J.C. và cs. (2001). *Agrarian dynamics and farming system differentiation in xã Ngọc Phái, huyện Chợ Đồn, tỉnh Bắc Kạn*. SAM Paper Series, số 8.

4. Cuong Van Nguyen và cs. (2018). *Evolution of agricultural mechanization in Vietnam*. IFPRI Discussion Paper, số 01724.

chính sách ổn định, nhất quán và các cơ chế hỗ trợ mạnh mẽ cho việc sử dụng máy móc do doanh nghiệp trong nước sản xuất.

Những yếu tố đặc thù này cho thấy bài học cơ giới hóa trên thế giới mang tính đa dạng và phụ thuộc chặt chẽ vào bối cảnh kinh tế – xã hội và thể chế của từng quốc gia. Do đó, Việt Nam khó có thể sao chép nguyên mẫu các mô hình quốc tế, mà cần tiếp cận theo hướng chọn lọc, thích ứng, tập trung vào những nội dung có khả năng vận dụng như tổ chức dịch vụ cơ giới hóa, phát triển cơ giới hóa theo chuỗi giá trị và vùng nguyên liệu, đồng thời từng bước hoàn thiện thể chế, chính sách phù hợp với điều kiện thực tiễn trong nước.

##### 4.2. Kiến nghị

Đối với Việt Nam, cần hoàn thiện chính sách cơ giới hóa theo hướng đồng bộ, gắn với phát triển vùng sản xuất hàng hóa tập trung; tăng cường hỗ trợ phát triển dịch vụ cơ giới hóa, đặc biệt là mô hình thuê máy; thúc đẩy nghiên cứu, sản xuất và nội địa hóa máy nông nghiệp phù hợp với quy mô sản xuất nhỏ và vừa; đồng thời đẩy mạnh đào tạo nguồn nhân lực kỹ thuật và ứng dụng công nghệ số trong cơ giới hóa nông nghiệp.

5. GSO (2021). *Điều tra nông thôn, nông nghiệp giữa kỳ năm 2020*. Tổng cục Thống kê Việt Nam.

6. Hà Đức Hồ (2015). *Một số nét nổi bật về cơ giới hóa nông nghiệp Hàn Quốc*. <https://www.vsage.vn>

7. Hà Dương (2023). *Nông sản Thái Lan lần sâu vào thị trường ASEAN*. <https://nongnghiep.vn>

8. IPSARD (2022). *Báo cáo điều tra cơ giới hóa của một số sản phẩm chủ lực*. Hà Nội: Bộ Nông nghiệp và PTNT.

9. Nguyễn Đỗ Anh Tuấn (2006). *Agricultural surplus and industrialization in Vietnam since the country's reunification*. Luận án tiến sĩ, Institute of Social Studies.

10. Nguyễn Quang Việt (2014). *Status of custom hiring in Vietnam*. Diễn đàn khu vực

*lần thứ 2 về cơ giới hóa nông nghiệp bền vững châu Á – TBD, ESCAP/CSAM.*

11. NXB Giáo dục Hà Nội (2018). *Giáo trình kinh tế nông nghiệp*. Hà Nội.

12. Phan Hiều Hiền (2010). *Harvesting and drying of rice in Viet Nam*. Trong: Viet Nam – Fifty years of rice research and development.

13. Tâm, D.T. (2015). *Mechanization of agricultural production in Vietnam*. VIAEP, Bộ Nông nghiệp và PTNT.

14. Trung tâm Tin học Thống kê (2019). *Báo cáo điều tra thực trạng cơ giới hóa trong nông nghiệp*. Hà Nội: Bộ Nông nghiệp và PTNT.

15. Vũ Anh Tuấn (2020). *Thực trạng cơ giới hóa nông nghiệp của Hàn Quốc*. Cục Kinh tế Hợp tác và PTNT.

16. Akira Kurimoto (2004). *Agricultural cooperatives in Japan: An institutional approach*. Journal of Rural Cooperation, 32(2): 111–128.

17. Andreev, I. (1967). *USSR – Largest exporter of machines and equipment*. Soviet and Eastern European Foreign Trade, 3(5): 3–23.

18. Bai, Y., Kung, J.K. (2014). *The shaping of an institutional choice*. Explorations in Economic History, 54: 1–26.

19. Barker, R. và cs. (2004). *Macro policies and investment priorities for irrigated agriculture in Vietnam*. Comprehensive Assessment Research Report, số 6.

20. Belton, B. và cs. (2021). *The rapid rise of agricultural mechanization in Myanmar*. Food Policy, 101: 102095.

21. Biggs, S. (2015). *Rural and agricultural mechanization*. IFPRI Discussion Paper, số 01443.

22. Byounggap Kim (2013). *Survey on agricultural machinery use in Korea*. National Academy of Agricultural Science.

23. C.H. Lee và cs. (1999). *A review of Japanese agricultural mechanization policy*. Journal of the Science of Food and Agriculture.

- Ngày gửi bài: 22/04/2025  
- Ngày phản biện: 27/12/2025

24. Chen, S., Lan, X. (2020). *Tractor vs. animal*. Journal of Development Economics, 147: 102536.

25. Citrin, D. (2021). *Agricultural policies in Japan and their economic consequences*. International Monetary Fund.

26. Dongpo Li và cs. (2022). *Smart agriculture and production practices in Japanese large-scale rice farming*. Journal of the Science of Food and Agriculture.

27. FAO (2018). FAOSTAT. Rome.

28. Hnin Ei Win (2017). *Farm mechanization in Thailand*. FFTC Agricultural Policy Platform.

29. Huang, J., Wang, X., Rozelle, S. (2013). *The subsidization of farming households in China's agriculture*. Food Policy, 41: 124–132.

30. Kaburi, H. (2000). *Agricultural mechanization in Japan: Issues and solutions*. MAFF.

31. Lee Donghyeon (2003). *Mechanization technology development in rice farming in Korea*. Agricultural Engineering.

32. Lopez, R.A., He, X., de Falcis, E. (2017). *What drives China's new agricultural subsidies?* World Development, 93: 279–292.

33. Nickum, J.E. (1979). *The politics of agricultural mechanization in China*. Journal of Development Economics, 6: 287–290.

34. Osamu Yukumoto (2011). *Japanese agriculture and agricultural machinery*. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America, 42(1): 72–75.

35. Pingali, P. (2007). *Agricultural mechanization: Adoption patterns and economic impact*. Handbook of Agricultural Economics.

36. Qiao, F. (2017). *Mechanization and agricultural production in China*. China Economic Review, 46: 249–260.

37. Zhou, Y., Li, X., Liu, Y. (2020). *Rural land system reforms in China*. Land Use Policy, 91: 104330.

- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026

## BA KỊCH BẢN PHÁT TRIỂN CƠ GIỚI HÓA NÔNG NGHIỆP ĐẾN NĂM 2035

Bạch Quốc Khang<sup>1</sup>

### TÓM TẮT

Để có nền nông nghiệp thông minh rất cần có bước phát triển đột phá của cơ điện nông nghiệp. Hiện nay, cơ giới hóa nông nghiệp Việt Nam đang kẹt trong “bẫy trung bình”, chưa vươn lên được cấp độ cơ giới hóa thông minh. Nhiều nhiệm vụ khoa học công nghệ về cơ điện nông nghiệp đã được triển khai, nhưng đa số phải dừng ở điểm trung gian, chưa vào sâu được sản xuất do nhiều lý do.

Trên cơ sở nghiên cứu kinh nghiệm một số nước có điều kiện tương đồng, tác giả phân tích 3 kịch bản phát triển cơ điện nông nghiệp Việt Nam đến năm 2035. Cùng với đó đề xuất các nhóm chính sách vĩ mô phục vụ cho kịch bản được kỳ vọng nhất – chuyển đổi toàn bộ hệ thống cơ điện nông nghiệp, làm nền tảng để phát triển nền nông nghiệp thông minh ở Việt Nam.

**Từ khóa:** cơ điện nông nghiệp, chính sách phát triển cơ điện nông nghiệp, nông nghiệp thông minh.

### ABSTRACT

To achieve smart agriculture, a breakthrough in agricultural mechanization is essential. Currently, Vietnam's agricultural mechanization is stuck in the "medium trap," failing to reach the level of smart mechanization. Many scientific and technological projects on agricultural mechanization have been implemented, but most remain at an intermediate stage, failing to penetrate deep into production due to various reasons.

Based on research into the experiences of several countries with similar conditions, the author analyzes three scenarios for the development of agricultural mechanization in Vietnam by 2035. Along with this, the author proposes key macroeconomic policies to support the most anticipated scenario – the complete transformation of the agricultural mechanization system, laying the foundation for the development of smart agriculture in Vietnam.

### ĐẶT VẤN ĐỀ

Nông nghiệp thông minh (*Smart Agriculture - SA*) là mô hình sản xuất ứng dụng công nghệ hiện đại như IoT, AI, Big Data và tự động hóa để tối ưu hóa quy trình. Các chỉ dấu cơ bản của nó là năng suất cao, chi phí tối thiểu, tiết kiệm tài nguyên và bảo vệ môi trường, đồng thời đảm bảo chất lượng sản phẩm. Hiện nay, SA đang trên đà phát triển, chuyển từ “khởi động” sang “mở rộng có chọn lọc”, từng bước hướng đến nông nghiệp hiện đại, xanh và số hóa. Đã xuất hiện các mô hình nông nghiệp số, tự động hóa, IoT, “cánh đồng không dấu chân”. Tuy nhiên, quy mô SA vẫn chưa đồng đều, chủ yếu ở TP. Hồ Chí Minh, vùng ven đô, đồng bằng với khoảng 2.500 mô hình chuyển đổi số.

Một trong những kim hãm đã tiến của SA là trình độ công nghệ sản xuất còn ở mức trung bình, mức độ cơ giới hóa (CGH) chưa cao. CGH là nền tảng vật lý, nhờ đó mới thực hiện được tầng số hóa của SA. Vì thế, đã đến

lúc nhìn nhận thật nghiêm túc vấn đề phát triển cơ điện nông nghiệp (CĐNN) ở Việt Nam, nhận diện những điểm huyết của nó, lường trước những kịch bản có thể xảy ra tùy theo mức độ đầu tư cho KHCN. Kịch bản thì có nhiều, nhưng kịch bản có thể giúp phát triển được SA vào năm 2035 là kịch bản cần được thực hiện nhất, đòi hỏi phải có khung chính sách tương ứng.

### 1. Thực trạng CGH nông nghiệp ở Việt Nam

Điểm nghẽn trong phát triển SA ở Việt Nam chủ yếu kinh tế hộ nhỏ, chưa phổ cập chuỗi giá trị mạnh, khó áp dụng công nghệ đồng bộ. Hạ tầng số, logistics còn hạn chế, chuyển đổi số còn manh mún, thiếu big data nông nghiệp và nền tảng số dùng chung. Công tác đào tạo nông dân về công nghệ chưa đạt yêu cầu, thiếu kỹ thuật viên nông nghiệp số, chuyển giao KHCN còn chậm. Tính bền vững của sản xuất chưa cao, tăng trưởng có dấu hiệu chậm lại khi các nguồn tài nguyên

<sup>1</sup> TSKH, Nghiên cứu viên cao cấp, Phó Chủ tịch Hội Cơ khí nông nghiệp Việt Nam, Phó Chủ tịch Hội đồng Biên tập tạp chí Công nghiệp nông thôn, Cố vấn cấp cao của Viện Tài nguyên nước và Môi trường Đông Nam Á.

## CƠ CHẾ CHÍNH SÁCH

đã khai thác tới ngưỡng, môi trường còn áp lực ô nhiễm, ứng phó biến đổi khí hậu chưa đồng bộ.

Vì thế, tuy đã bước vào quỹ đạo SA, nhưng nông nghiệp Việt Nam vẫn ở giai đoạn đầu của chuyển đổi. Thành công hiện nay mang tính mô hình, điểm sáng, thí điểm. Trong khi đó các điểm nghẽn lại nằm trong lõi “*chết người*”.

CGH là nền tảng vật lý, bên trên nó là tầng số hóa của SA. CGH yếu sẽ trực tiếp cản trở

SA. Không có “*lớp cơ giới*” thì không thể gắn cảm biến, không thể tự động hóa được và chuyển đổi số chỉ dừng ở trên giấy.

Nếu nhìn sâu hơn, thì CGH không chỉ là nền tảng vật lý của SA, mà nó còn là yếu tố can thiệp vào các nguyên nhân hạn chế gốc rễ, là chìa khóa giải quyết các điểm nghẽn của SA. Đang tiếp tục tồn tại vòng luân quần CGH – sản xuất nhỏ – năng suất thấp trong nông nghiệp (Hình 1):



Hình 1: Vòng luân quần trong nông nghiệp

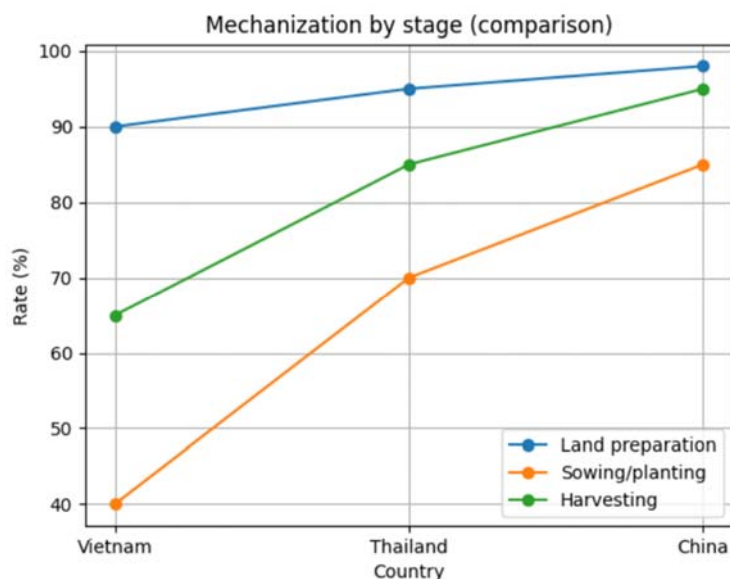
Phải phá vỡ mắt xích “CGH yếu” mới thoát khỏi vòng luân quần này. Mặt khác, thiếu CGH trình độ cao thì các chỉ dấu cơ bản của SA như năng suất cao, chi phí thấp, giá trị gia tăng cao sẽ không thể có được. Hơn nữa, vai trò đòn bẩy của CGH là rất rõ. Nó đã và còn nhiều dư địa tác động ngược trở lại để giải quyết các điểm nghẽn của nông nghiệp. Ngày càng nhiều máy lớn được ứng dụng sẽ thúc đẩy tích tụ ruộng đất, dồn điền đổi thửa, tổ chức lại sản xuất, tạo thị trường dịch vụ nông nghiệp, hình thành doanh nghiệp nông nghiệp thực sự v.v..

Cùng với vai trò là nền tảng vật lý của SA, CGH nông nghiệp hiện nay mang tính hai mặt: vừa bị giới hạn bởi cấu trúc sản xuất nhỏ

lẻ, hạ tầng và nhân lực yếu; vừa là điều kiện tiên quyết để vượt qua chính những giới hạn đó. Nếu không đẩy mạnh CGH một cách đồng bộ và theo chuỗi giá trị, thì nông nghiệp khó có thể chuyển sang giai đoạn phát triển thông minh và hiện đại.

Hiện nay, trình độ CGH tương đối cao trong sản xuất lúa, nhưng có tình trạng “*đầu cuối cao, ở giữa thấp*”. Nghĩa là CGH cao ở các khâu đầu và cuối (Làm đất ~ 95–100%; Thu hoạch ~ 90–95%) và thấp ở các khâu giữa, điểm nghẽn là các khâu gieo trồng, chăm sóc. CGH phun thuốc BVTV chỉ gần 70%. Drone tăng nhanh nhưng chỉ đạt dưới 10% diện tích. Các tỷ lệ này đều thấp hơn Thailand và Trung Quốc (Hình 2).

## CƠ CHẾ CHÍNH SÁCH



Hình 2: Biểu đồ so sánh tỷ lệ CGH các khâu làm đất (đường trên cùng), Thu hoạch (đường ở giữa), Gieo cấy (đường dưới cùng) giữa Việt Nam, Thái Lan và Trung Quốc.

Các cây trồng cạn như ngô, đậu tương thì tỷ lệ CGH thấp hơn: làm đất đạt 70–80%; gieo trồng dưới 30%, thu hoạch chưa đến 20%.

Với cà phê, hồ tiêu, chè CGH thấp và không đồng bộ, đặc biệt ở khâu thu hoạch, chủ yếu thủ công hoặc bán cơ giới, máy chuyên dụng rất ít.

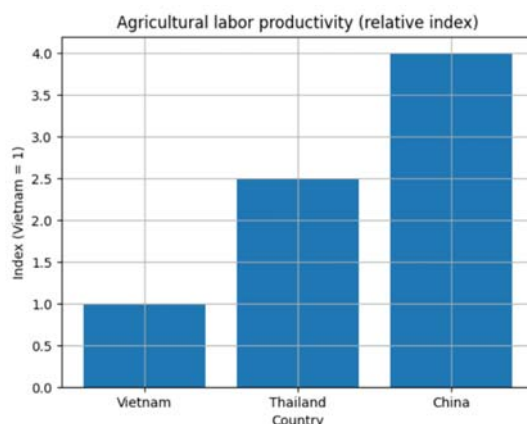
CGH chăn nuôi bị phân hóa mạnh theo quy mô. Ở các trang trại lớn có mức độ tự động hóa cao (cho ăn, làm mát, xử lý chất thải). Nhưng với hộ nhỏ thì chủ yếu là thủ công

Tương tự là trong ngành thủy sản. Ở quy mô nuôi tôm công nghiệp mức độ tự động hóa

(quạt nước, cho ăn) đạt khá, khoảng 60–80%, nhưng nuôi truyền thống thì rất thấp.

Nhìn chung, chỉ tiêu tổng hợp CGH nằm ở mức trung bình trong nhiều thập kỷ. Mức trang bị động lực khoảng 2,5 – 3,0 HP/ha. Trong khi ở Thái Lan đạt 4 HP/ha; Hàn Quốc hơn 7 HP/ha. Chúng ta đã vượt ngưỡng “CGH sơ cấp” nhưng chưa thoát khỏi “bẫy trung bình” để đạt “CGH hiện đại”.

Tương ứng với trình độ CGH, năng suất lao động nông nghiệp của Việt Nam thấp hơn Thailand và Trung Quốc (Hình 3).



Hình 3: So sánh năng suất lao động nông nghiệp giữa Việt Nam (cột trái) với Thailand (cột giữa) và Trung Quốc (cột phải)

“Mảng tối” của hiện trạng này bị phủ bóng bởi nguồn nhân lực và đầu tư KHCN cho CGH nông nghiệp quá thấp. Tổng chi KHCN của ta chỉ đạt 0,5–0,7% GDP. Trong số đó, tỷ lệ chi cho KHCN nông nghiệp chỉ chiếm 10–12%, nghĩa là chỉ chiếm khoảng 0,06% GDP mà thôi. Nông nghiệp là “trụ đỡ của kinh tế” Việt Nam, CGH là “trụ cột của sản xuất” nông nghiệp, nhưng lại chưa phải “trụ cột đầu tư KHCN”.

### 2. Những điểm dừng trong nghiên cứu – triển khai CDNN

Trong khi ngân sách đầu tư quá ít ỏi, thì điểm yếu chết người của KHCN về CDNN là hiệu quả ứng dụng vào sản xuất còn hạn chế. Hầu hết các nhiệm vụ được đề xuất sát với thực tế, có tính cấp thiết cao, nhưng không đủ nguồn lực và thời gian để đi đến tận cùng, tạo được thành công trong sản xuất.

Đã có nhiều đề tài, dự án nghiên cứu chuyển giao máy làm đất, thu hoạch, chăm sóc, chế biến quy mô vừa và nhỏ, nhưng thường dừng ở mẫu thử, ít đi tới thương mại hóa quy mô lớn.

Những nghiên cứu về chuyển đổi số, IoT, AI thường trùng về công nghệ, đã triển khai

### 3. Ba kịch bản phát triển CDNN đến năm 2035

Vấn đề đặt ra cho CGH không chỉ là tăng thêm máy móc, mà là lựa chọn con đường phát triển phù hợp cho nông nghiệp Việt Nam trong giai đoạn tới. Đến năm 2035, có thể hình dung ba kịch bản phát triển với những hệ quả khác nhau.

**1. Kịch bản I – Duy trì quán tính** với các đặc trưng: (1) CGH tiếp tục tăng nhưng tự phát, không đồng bộ; (2) Đầu tư KHCN vẫn ở mức thấp; (3) Ruộng đất manh mún, tích tụ chậm; (4) Doanh nghiệp cơ khí nông nghiệp phát triển yếu; (5) Chỉ báo đến 2035: CGH 75–80% chủ yếu ở khâu làm đất; Mức trang bị động lực 2,5–3 HP/ha; Năng suất lao động tăng chậm 1,5–2 lần so với hiện nay.

Hệ quả không thu hẹp được khoảng cách với Thái Lan, Trung Quốc, nguy cơ “mắc

nguyên cứu về cảm biến môi trường, hệ thống tưới thông minh, phần mềm quản lý trang trại... Nhưng vấn đề là sự manh mún, không liên thông, thiếu dữ liệu nền.

Ở lĩnh vực sau thu hoạch các nhiệm vụ thường trùng về giải pháp kỹ thuật. Đã triển khai các nhiệm vụ về máy sấy, kho lạnh, đóng gói, công nghệ bảo quản, nhưng quy mô nhỏ, rời rạc, ít gắn với chuỗi tiêu thụ.

Các nhiệm vụ hỗ trợ phát triển HTX thì thường trùng về ý tưởng. Đã có mô hình HTX dịch vụ máy, một số nơi có trung tâm dịch vụ CGH, nhưng thiếu nền tảng số, hiệu quả chưa cao, khó nhân rộng.

Trong đào tạo nguồn nhân lực đã triển khai một số nhiệm vụ về đào tạo nghề nông thôn, xây dựng tiêu chuẩn máy nông nghiệp... nhưng còn lạc hậu so với công nghệ mới (AI, drone), thiếu chuẩn kết nối dữ liệu.

Có thể thấy, vấn đề lớn nhất trong nghiên cứu – triển khai về CDNN nông nghiệp không phải là thiếu đề tài, mà là thiếu “*bài toán lớn*” và cách tổ chức giải bài toán, hay nói cách khác, thiếu kịch bản CGH tối ưu và các trụ cột chính sách để hiện thực hóa các kịch bản đó.

“kết” trong bẫy thu nhập trung bình thấp của nông nghiệp.

**2. Kịch bản II – Tăng tốc từng phần** với các đặc trưng: (1) Tăng đầu tư KHCN có trọng điểm; (2) Đẩy mạnh CGH các khâu then chốt; (3) Hình thành các vùng sản xuất hàng hóa tập trung; (4) Doanh nghiệp tham gia đồng đảo vào các chuỗi giá trị; (5) Chỉ báo đến 2035: CGH 85–90% (tiệm cận đồng bộ); Mức trang bị động lực 4–5 HP/ha (tiệm cận Thái Lan hiện nay); Năng suất lao động tăng 2,5–3 lần.

Hệ quả: thu hẹp đáng kể khoảng cách khu vực, hình thành nền nông nghiệp hàng hóa hiện đại ở một số vùng. Nhưng vẫn còn chênh lệch lớn giữa các vùng và chưa tạo được đột phá toàn hệ thống

**3. Kịch bản III – Chuyển đổi hệ thống** với đặc trưng cốt lõi: (1) CGH đồng bộ gắn với tích tụ ruộng đất quy mô lớn, chuyển đổi

số nông nghiệp, công nghiệp cơ khí nội địa phát triển mạnh, doanh nghiệp trở thành trung tâm, hình thành hệ sinh thái: Máy móc – Dữ liệu – Dịch vụ – Chuỗi giá trị; (2) Chỉ báo đến 2035: CGH trên 95% (đồng bộ toàn chuỗi); Mức trang bị động lực 6–8 HP/ha; Năng suất lao động tăng 4–5 lần (tiệm cận Trung Quốc hiện nay).

Hệ quả: Việt Nam bước vào nhóm nước có nền nông nghiệp hiện đại trong khu vực, chuyển từ “sản xuất nông nghiệp” sang “kinh tế nông nghiệp”.

Ba kịch bản cho thấy sự khác biệt không nằm ở tốc độ tăng trưởng đơn thuần, mà ở chất lượng của mô hình phát triển. Nếu Kịch bản I kéo dài tình trạng phân tán, Kịch bản II tạo ra cải thiện cục bộ, thì chỉ có Kịch bản III mới tạo ra sự chuyển đổi mang tính hệ thống, tạo điều kiện tiên quyết để nông nghiệp Việt Nam bứt phá.

Trong bối cảnh cạnh tranh toàn cầu ngày càng gay gắt và áp lực chuyển đổi mô hình tăng trưởng GDP hai con số, lựa chọn Kịch bản Chuyển đổi hệ thống không còn là phương án tham khảo, mà là yêu cầu tất yếu đối với nông nghiệp Việt Nam trong giai đoạn tới.

### 4. Năm trụ cột chính sách hiện thực hóa Kịch bản CGH đến năm 2035

Để hiện thực hóa Kịch bản Chuyển đổi hệ thống cần có cách tiếp cận tổng thể, vượt ngoài tư duy tăng cường máy móc đơn thuần. Trọng tâm là kiến tạo đồng thời các điều kiện về đất đai, công nghệ, doanh nghiệp và tổ chức sản xuất. Trên cơ sở đó, có thể xác định 5 trụ cột chính sách chủ đạo.

**1. Trụ cột 1: Tái cấu trúc đất đai – nền tảng của cơ giới hóa** với các trọng tâm: (1) Đẩy mạnh tích tụ, tập trung ruộng đất; (2) Phát triển các cánh đồng lớn, HTX kiểu mới, Doanh nghiệp thuê – liên kết đất đai.

Ý nghĩa cốt lõi là: không có quy mô đất đủ lớn, máy móc sẽ không thể phát huy hiệu quả. “Cơ giới hóa bắt đầu từ thửa ruộng, không phải từ nhà máy”.

**2. Trụ cột 2: Đột phá khoa học công nghệ và chuyển đổi số** với trọng tâm: (1)

Tăng mạnh đầu tư cho CDNN, tự động hóa, SA; (2) Ứng dụng IoT, AI, dữ liệu lớn, máy móc thông minh,

Ý nghĩa cốt lõi là: chuyển từ CGH cơ học sang CGH thông minh. “Không chỉ thay sức người bằng máy, mà còn thay kinh nghiệm bằng dữ liệu”.

**3. Trụ cột 3: Phát triển công nghiệp cơ khí nông nghiệp quốc gia** với trọng tâm: (1) Hỗ trợ doanh nghiệp nội địa, thiết kế – chế tạo máy phù hợp điều kiện Việt Nam; (2) Giảm phụ thuộc nhập khẩu; (3) Hình thành các cụm công nghiệp cơ khí nông nghiệp, chuỗi cung ứng trong nước.

Ý nghĩa cốt lõi là: làm chủ công nghệ chế tạo để làm chủ quá trình CGH. “Không có ngành cơ khí mạnh, không thể có nền nông nghiệp hiện đại”.

**4. Trụ cột 4: Tổ chức lại sản xuất theo chuỗi giá trị** với trọng tâm: (1) Doanh nghiệp đóng vai trò trung tâm; (2) Phát triển liên kết “4 nhà”, dịch vụ CGH.

Ý nghĩa cốt lõi là: chuyển mạnh từ “mỗi hộ một máy” sang “dịch vụ CGH chuyên nghiệp”. “CGH không phải sở hữu máy, mà là tiếp cận dịch vụ máy”.

**5. Trụ cột 5: Đổi mới thể chế và chính sách tài chính** với trọng tâm: (1) Tín dụng ưu đãi cho máy nông nghiệp, doanh nghiệp cơ khí; (2) Chính sách khấu hao nhanh, hỗ trợ đổi mới công nghệ; (3) Hoàn thiện thị trường đất đai, thị trường dịch vụ nông nghiệp.

Ý nghĩa cốt lõi là: tạo “đòn bẩy” để thị trường vận hành. “Chính sách đúng không thay thế thị trường, mà kích hoạt thị trường”

Năm trụ cột chính sách này không tồn tại độc lập, mà có mối quan hệ hữu cơ với nhau. Tái cấu trúc đất đai tạo không gian cho CGH; KHCN tạo động lực; công nghiệp cơ khí cung cấp phương tiện; tổ chức sản xuất theo chuỗi tạo đầu ra ổn định; thể chế chính sách đóng vai trò dẫn dắt. Chỉ khi năm trụ cột này được triển khai đồng bộ, CGH nông nghiệp mới có thể chuyển từ phát triển từng phần sang chuyển đổi hệ thống.

Đã đến lúc CGH không còn là câu chuyện của nông nghiệp, mà trở thành thước đo của trình độ phát triển quốc gia. Lựa chọn con

### KẾT LUẬN

CGH nông nghiệp những năm qua tiếp tục tăng về lượng, nhưng chậm chuyển đổi về chất, chưa đáp ứng được yêu cầu của nông nghiệp thông minh (SA). Đầu tư KHCN cho CĐNN chưa được quan tâm đúng mức, trong khi hiệu quả nghiên cứu – triển khai còn thấp, nhà khoa học thường phải dứng chân trước sản xuất.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Daum, T., & Birner, R. (2020): *Agricultural mechanization in Africa: Myths, realities and an emerging research agenda*. *Global Food Security*, 26, 100393.

2. FAO. (2013): *Sustainable agricultural mechanization: A framework for Africa*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

3. Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019): *A review of social science on digital agriculture*. *NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences*, 90–91, 100315.

4. Pretty, J., Benton, T. G., Bharucha, Z. P., et al. (2018): *Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification*. *Nature Sustainability*, 1, 441–446.

5. Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M. J. (2017): *Big data in smart farming – A review*. *Agricultural Systems*, 153, 69–80.

đường cho CGH hôm nay chính là lựa chọn vị thế của nông nghiệp Việt Nam trong tương lai.

Để phát triển SA cần phải chuyển trọng tâm từ nghiên cứu CGH máy móc riêng lẻ sang giải bài toán lớn, tạo ra sự chuyển đổi hệ thống CGH. Từ đó xác định chọn Kịch bản Chuyển đổi hệ thống để phát triển CGH từ nay đến 2035, kèm theo đó là 5 trụ cột chính sách hỗ trợ phát triển SA ở nước ta.

6. World Bank. (2016): *Transforming Vietnamese agriculture: Gaining more from less*. Washington, DC: World Bank.

7. Zhang, Q., Wang, K., Wang, N., et al. (2002): *Precision agriculture—a worldwide overview*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36 (2–3), 113–132.

8. Bộ Nông nghiệp và PTNT về tái cơ cấu ngành nông nghiệp và chuyển đổi số.

9. Bộ Khoa học và Công nghệ về đổi mới cơ chế nhiệm vụ KHCN.

- Ngày gửi bài: 20/04/2026

- Ngày duyệt đăng: 02/06/2026

Số: 77 /CV-TCCNNT  
Vv: “Mời tham gia viết bài khoa học”

Hà Nội, ngày 14 tháng 11 năm 2025

## THƯ MỜI VIẾT BÀI KHOA HỌC

**Kính gửi: Nhà khoa học, Chuyên gia, Giảng viên, Nghiên cứu sinh và các tác giả quan tâm**

**Tạp chí Công nghiệp Nông thôn** là cơ quan thông tin khoa học uy tín, thực hiện sứ mệnh tuyên truyền chủ trương, đường lối của Đảng, chính sách và pháp luật của Nhà nước, đồng thời cập nhật các tiến bộ khoa học kỹ thuật trong sản xuất, chế biến, bảo quản nông lâm thủy sản, phát triển ngành nghề nông thôn và kinh tế thương mại dịch vụ nông thôn.

Với mục tiêu thúc đẩy các hoạt động nghiên cứu khoa học, tăng cường trao đổi học thuật và công bố các kết quả nghiên cứu có giá trị trong lĩnh vực về Cơ điện, Cơ khí, Động lực nông nghiệp, chế biến và bảo quản nông sản, thực phẩm. Ban Biên tập Tạp chí Công nghiệp Nông thôn trân trọng kính mời Quý tác giả gửi bài viết khoa học để đăng tải trên tạp chí của chúng tôi.

Với uy tín khoa học cao: Tạp chí được Hội đồng Giáo sư Liên ngành **Cơ khí – Động lực** và Hội đồng Giáo sư Liên ngành **Hóa học và Công nghệ thực phẩm** công nhận, với mỗi bài viết được tính 0,5 điểm theo Quyết định số 26/QĐ-HĐGSNN ngày 11 tháng 7 năm 2025 của Hội đồng Giáo sư Nhà nước.

Các bài viết được đánh giá bởi đội ngũ chuyên gia đầu ngành trong nước và quốc tế, đảm bảo chất lượng khoa học cao nhất. cùng với, cơ hội hợp tác quốc tế, Tạp chí khuyến khích các bài viết có tính ứng dụng quốc tế, mở rộng cơ hội hợp tác nghiên cứu toàn cầu.

### **Thông tin liên hệ và gửi bài viết**

Email nhận bài: [khoahocnnt@gmail.com](mailto:khoahocnnt@gmail.com)

Hotline : 024.38688620 / 0865.988.388; Website: <https://congnghiepnongthon.vn/>

Ban Biên tập Tạp chí Công nghiệp Nông thôn hy vọng nhận được sự quan tâm và tham gia của Quý tác giả người Việt Nam, các nhà khoa học quốc tế, để cùng nhau đóng góp vào sự phát triển bền vững của lĩnh vực cơ điện, cơ khí, động lực, cơ giới nông nghiệp, chế biến nông sản và ngành nghề nông thôn và thúc đẩy các nghiên cứu mang tầm ảnh hưởng toàn cầu.

**Xin trân trọng cảm!**

**Nơi nhận:**

- Như trên;

- Lưu Văn phòng;

**TM. TẠP CHÍ CÔNG NGHIỆP NÔNG THÔN  
TỔNG BIÊN TẬP**

**Đã ký**

**Nhà báo, TS. Lê Ngọc Ánh**



ECO RETREAT

# FOREST ONSEN



MỘT SẢN PHẨM ONSEN TRỊ LIỆU  
TỪ DB GROUP - NHÀ SÁNG LẬP ECOPARK

# TRUNG TÂM PHẪU THUẬT ROBOT CÔNG NGHỆ CAO

Dẫn lối kỹ nguyên phẫu thuật robot tại Việt Nam

## CÁ THỂ HOÁ

Ứng dụng công nghệ 3D giúp mô phỏng và lập kế hoạch phẫu thuật riêng biệt cho từng bệnh nhân trước khi bước vào phòng mổ



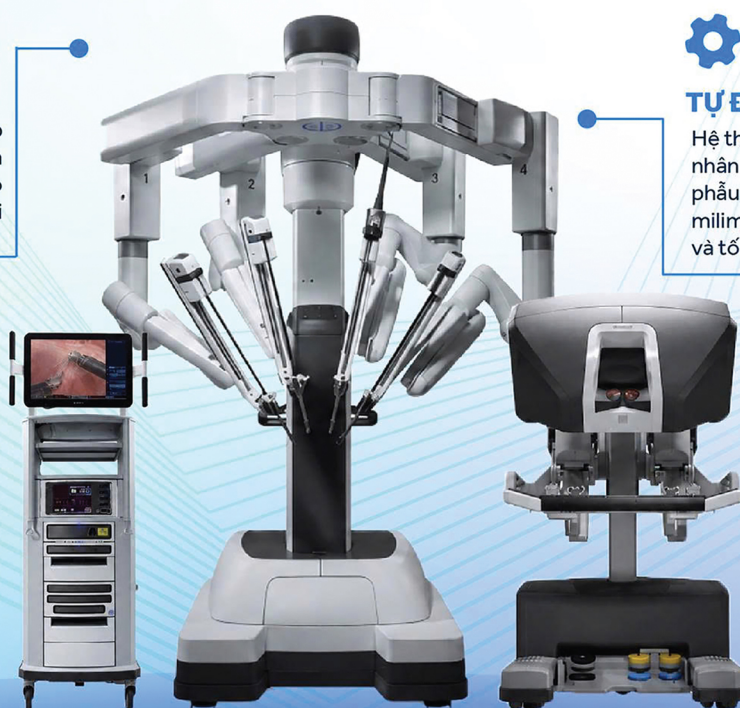
## TỰ ĐỘNG HÓA

Hệ thống robot tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) hỗ trợ các ca phẫu thuật chính xác đến từng milimet, nâng cao độ an toàn và tối ưu kết quả điều trị



## CHUẨN HÓA

Xây dựng hệ sinh thái học thuật, đào tạo và nghiên cứu lâm sàng chuẩn quốc tế, quy tụ mạng lưới chuyên gia toàn cầu



HỆ THỐNG Y TẾ  
*đầu tiên tại Việt Nam*  
HOÀN THIỆN MÔ HÌNH *3 trong 1*

*"Robot không thay thế bác sĩ giỏi,  
robot giúp bác sĩ giỏi trở nên chính xác hơn nữa"*

**GS.TS.BS TRẦN TRUNG DŨNG**  
Tổng Giám đốc Hệ thống Y tế Vinmec

