

Mô hình quỹ đạo di chuyển của cụm cắt trong máy gọt vỏ cà rốt

Bành Quốc Nguyên^{1,2,*}, Nguyễn Hoàn^{1,2}, Phạm Hoàng Sơn^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Hiện nay, máy gọt vỏ cà rốt theo cơ chế nhiều lưỡi cắt bố trí theo cung tròn đã được thiết kế và phát triển bởi nhiều quốc gia trên thế giới với năng suất lớn nhằm đáp ứng nguồn cầu của thị trường. Đề tài tập trung vào phân tích quỹ đạo di chuyển và lực tác dụng của cụm cắt chính trong máy gọt vỏ cà rốt công nghiệp. Trước khi đánh giá, quy trình cắt của cụm gọt vỏ cà rốt sẽ được mô phỏng dưới dạng phương trình toán học dựa trên các thông số từ phần cứng như: kích thước của các chi tiết, thông số về ma sát giữa các khớp nối, vật liệu, tính chất vật lý của vật liệu, biên dạng của củ cà rốt và lực gọt vỏ cà rốt. Dựa trên mô hình toán với các thông số thiết kế đã xác định được thời gian cụm dao quay trở lại vị trí ban đầu, biểu đồ thời gian phù hợp với chu kỳ đáp ứng trong quá trình gọt vỏ cà rốt. Ngoài việc mô phỏng chính xác quá trình dao động của cụm dao, mô hình còn cung cấp khả năng hiệu chỉnh linh hoạt để phù hợp với các kích thước và đặc điểm khác nhau của củ cà rốt trong thực tế sản xuất tại Việt Nam. Đây là một bước tiến quan trọng hướng đến nội địa hóa công nghệ, đặc biệt trong bối cảnh các dòng máy nhập khẩu còn có giá thành cao. Bằng cách xây dựng cơ sở toán học rõ ràng, nghiên cứu giúp các nhà sản xuất máy trong nước có cơ sở khoa học để thiết kế và cải tiến thiết bị, từ đó nâng cao hiệu quả sản xuất và giảm chi phí đầu tư cho doanh nghiệp. Nghiên cứu đã tạo tiền đề cho quá trình tính toán tối ưu năng suất của cụm cắt.

Từ khoá: máy gọt vỏ cà rốt, dao động tắt dần, phương trình vi phân cấp hai

GIỚI THIỆU

Cà rốt là một trong những loại rau được tiêu thụ nhiều nhất với hơn 37 triệu tấn được sản xuất mỗi năm trên toàn thế giới¹. Việc sản xuất quy mô lớn như vậy dẫn đến yêu cầu về cải tiến quy trình và các khâu trong quá trình chế biến cà rốt, khoảng 11% khối lượng ban đầu bị mất đi, chủ yếu ở dạng vỏ, củ và thịt dính liền. Theo bài nghiên cứu về hình dạng của các loại cà rốt², kích thước đường kính và chiều dài được nghiên cứu để đưa ra một phương thức chung để đánh giá và phân loại cà rốt. Sự phân loại đó giúp thúc đẩy quá trình cơ giới hóa trong lĩnh vực chế biến cà rốt. Các hệ thống máy có đầu vào kích thước quả ổn định hơn, từ đó nâng cao năng suất và chất lượng của thành phẩm. Cho tới thời điểm hiện tại, thị trường có nhiều cơ chế gọt vỏ cà rốt khác nhau với những ưu điểm và nhược điểm riêng. Hai nguyên lý gọt vỏ cà rốt phổ biến hiện nay có thể kể đến như sau: đánh sạch vỏ bằng lông quay và chuốt vỏ cà rốt theo chiều dài củ. Trong đó phương pháp chuốt theo chiều dài đạt được tỉ lệ thành phẩm cao và được áp dụng nhiều ở các dòng máy tân tiến hiện nay. Các nghiên cứu về cơ cấu chuốt được phát triển mạnh bởi công ty HEPRO³, công ty dẫn đầu về lĩnh vực này, các nghiên cứu được đăng ký bằng sáng chế³⁻⁵ và được thương mại hóa. Hiện nay cơ cấu⁶ được sử dụng rộng rãi nhất với các ưu điểm: chất lượng gọt vỏ cao, năng suất lớn và không cần cung cấp

nước trong quá trình gọt. Các dòng máy sử dụng cơ chế này có công suất bắt đầu từ 3000 cù/giờ, tương ứng với 3 ÷ 4 tạ/giờ và phù hợp với mọi loại cà rốt có chiều dài tối thiểu là 160 mm, đường kính 25 ÷ 65 mm với 18-20% hao hụt sau khi gọt⁶.

Tại thị trường Việt Nam, giống cà rốt được sử dụng rộng rãi có chiều dài từ 180 ÷ 230 mm, đường kính khoảng 45 mm với khối lượng dao động từ 110 ÷ 150 gram. Sản lượng cà rốt năm 2021 đạt 90 nghìn tấn, trong đó 3/4 được đóng gói xuất khẩu ra các nước lân cận và phần còn lại được tiêu thụ trong nước. Sản lượng sản xuất ngày càng gia tăng, điều đó đẩy mạnh ngành công nghiệp phụ trợ nhằm gia tăng tính kinh tế của ngành nông nghiệp nói chung và sản xuất cà rốt nói riêng. Nhờ vào sự chênh lệch giá của sản phẩm thô và sản phẩm đã qua sơ chế (sau khi gọt) chính vì vậy nhu cầu máy gọt vỏ tự động để nâng cao năng suất và giảm thiểu chi phí lao động. Tuy nhiên các hệ thống máy tiên tiến trên thế giới hiện nay (HEPRO) có chi phí rất lớn, chưa phù hợp với thị trường Việt Nam hiện nay.

Theo nhu cầu thực tiễn, một trong những vấn đề cần giải quyết hiện nay là giảm chi phí máy gọt vỏ cà rốt để phù hợp với thị trường Việt Nam. Để làm được điều đó, việc hiểu rõ và phát triển hệ thống là cần thiết. Bài nghiên cứu đưa ra mô hình toán để tính toán lực và mô phỏng quỹ đạo chuyển động của cụm cắt nhằm nâng cao quá trình cắt.

¹Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM

²Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Liên hệ

Bành Quốc Nguyên, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Bách Khoa Tp. HCM

Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

Email: bqnguyen@hcmut.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 17-09-2023
- Ngày sửa đổi: 09-11-2024
- Ngày chấp nhận: 05-08-2025
- Ngày đăng: 12-09-2025

DOI:

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i3.1201>



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



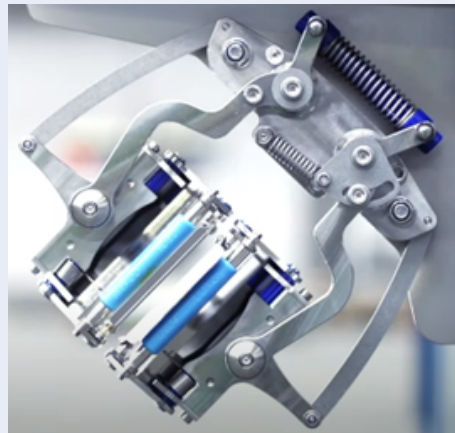
Trích dẫn bài báo này: Quốc Nguyên B, Hoàn N, Hoàng Sơn P. **Mô hình quỹ đạo di chuyển của cụm cắt trong máy gọt vỏ cà rốt.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2025; 8(3):2607-2611.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô tả chung cụm cắt:

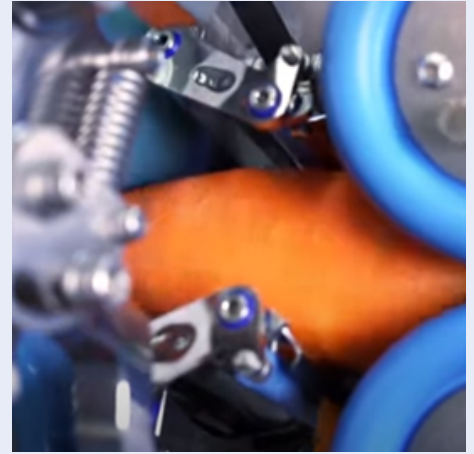
Cơ chế lưỡi dao lắc song song được sử dụng rộng trong các hệ thống gọt vỏ với hình dạng dài và tròn trong nông nghiệp. Tương đồng với quy trình thủ công tại gia, sử dụng một con dao bào, tỷ lưỡi dao lên thân củ với góc độ và lực phù hợp sau đó bào theo biên dạng của củ. Đặc điểm nổi bật ở cơ chế này là hai cụm dao giống nhau sẽ được bố trí song song đối diện nhau cộng thêm với tốc độ di chuyển của con lăn đã đẩy năng suất gọt vỏ lên mức công nghiệp.

Mỗi một cụm dao (Hình 1) như vậy sẽ được cố định ở 8 vị trí quanh một vòng cung. Đầu tiên là một chi tiết nằm trung gian giữa khung máy và phần còn lại của cụm dao. Tiếp đó là hai bộ phận gọt được bố trí đối xứng với nhau, nối với khung máy qua bốn bản lề. Hai bộ phận có vai trò ngang nhau nhưng một bên có thêm một lò xo nhỏ bắt với khung máy và rãnh tinh chỉnh vị trí. Sự khác nhau này chỉ nhằm mục đích dịch chỉnh hai bộ phận gọt về tâm hoạt động của máy và không ảnh hưởng đến phân tích lực học. Lò xo lớn nối giữa hai bộ phận gọt chính là tác nhân đưa dao gọt quay về trở lại vị trí tinh sau khi một củ cà rốt vừa đi qua để sẵn sàng cho một củ khác đi vào.



Hình 1: Cụm dao của máy HEPROUP-8000⁶

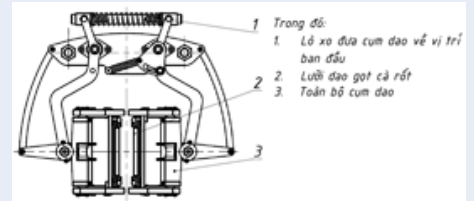
Cuối cùng chính là dao gọt vỏ cà rốt, nếu quan sát từ trên xuống (Hình 2) ta sẽ thấy ban đầu dao đã được bố trí góc nghiêng phù hợp so với phương bào, việc này giúp cụm gọt dễ dàng bắt lấy phần thân của củ ngay khi tiếp xúc. Liên sau dao bào có một củ chặn nhằm đảm bảo độ sâu bào trong suốt quá trình củ đi qua cụm dao. Bên cạnh đó, còn một lò xo bướm nằm bên trong dao gọt giúp hai bên dao có thể dễ dàng bung ra theo biên dạng của củ cà rốt.



Hình 2: Dao gọt trong quá trình hoạt động của máy HEPRO UP-8000⁶

Sơ đồ cụm dao cắt:

Sau khi đã phân tích cấu tạo chung của cơ chế lưỡi dao lắc song song thông qua ví dụ từ Hình 2, các chi tiết được thiết kế và mô phỏng lại. Như vậy ta được Hình 3 phỏng lại theo cơ chế phía trên.



Hình 3: Mô hình minh họa

Lấy trường hợp toàn bộ cụm dao nằm ở vị trí vuông góc với mặt đất và xem toàn bộ các chi tiết dính liền với dao gọt nằm dọc là bộ phận dao gọt. Mỗi một bên cụm dao đều được bố trí theo hình bình hành và được nối với nhau thông qua lò xo lớn ở chính giữa. Để thuận tiện cho tính toán, bộ phận dao gọt sẽ là một khối có trọng lượng riêng.

Để hiểu rõ vì sao việc hình thành phương trình là cần thiết để chọn ra giải pháp tối ưu nhất, sơ lược quy trình hoạt động của máy diễn ra như sau: băng truyền hình chữ V được tạo thành từ hai bộ truyền đai sẽ đưa những củ cà rốt đã qua quá trình vệ sinh và chọn lọc tiến vào khâu cắt gọt. Kết thúc bộ truyền đai là hai bánh lăn một trên một dưới được bọc một lớp vật liệu mềm và có tính ma sát phù hợp nhằm duy trì lực gọt trong suốt quá trình hoạt động. Sau đó củ tiếp xúc với cụm gọt và dao gọt sẽ thực hiện nhiệm vụ của mình,

do chiều dài của củ tối thiểu là 160 mm nên hai bánh lăn tương tự như ở phía trước cụm gọt được lắp đặt thêm liền sau. Như vậy kết thúc một chu trình, củ được bảo ở hai vị trí đối diện nhau. Để bảo sạch phần vỏ còn lại, chu trình trên tiếp tục lặp lại nhưng cụm dao được lắp ở góc độ khác. Mẫu chốt quyết định năng suất gọt một củ cà rốt sẽ được quyết định dựa trên thời gian cụm dao gọt hoàn lại về vị trí tính và sẵn sàng cho củ tiếp theo đi vào.

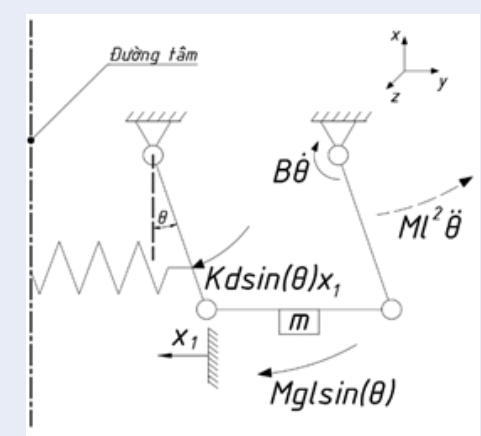
Dựa vào quá trình đo đạc và kiểm chứng với các giống cà rốt thông dụng nhất ở Việt Nam, góc mở bộ phận dao gọt lớn nhất ở mỗi bên không quá 10 độ. Vậy nên bài toán đặt ra là thời gian để cụm dao gọt từ vị trí mở ra lớn nhất cho đến khi gần như đứng im về vị trí ban đầu. Theo như công bố của nhà sản xuất năng suất tối đa của máy là 8000 củ/giờ, tương đương với 0,45 giây/củ nhưng đối với như cầu sản xuất của các hộ vừa và nhỏ ở nước ta chỉ rơi vào khoảng 1500 củ/giờ, tương đương với 2,4 giây/củ. Từ đó, ta kết hợp các thông số khác sẽ được miêu tả ở mục tiếp theo với các thông số phía trên và tính toán tìm ra phương trình quỹ đạo theo thời gian. Sau cùng là kiểm nghiệm lại và điều chỉnh.

KẾT QUẢ

Bảng 1: Giải thích các ký hiệu

STT	Thông số	Ký hiệu
1	Góc cụm dao so với phương thẳng đứng	θ
2	Vận tốc góc	$\dot{\theta}$
3	Gia tốc góc	$\ddot{\theta}$
4	Độ cứng của lò xo	K
5	Độ dài của thanh 1	l
6	Khoảng cách vị trí lò xo bắt với thanh 1	d
7	Khối lượng bộ phận dao gọt	M
8	Gia tốc trọng trường	g
9	Hệ số lực cản không khí	B
10	Moment quán tính	I

Các ký hiệu được sử dụng trong nghiên cứu được tóm tắt ở Bảng 1. Theo mô hình động học (Hình 3), khi cà rốt vừa đi qua toàn bộ cụm dao gọt, cụm dao dao động về vị trí cân bằng với không vận tốc đầu và góc ban đầu. Theo đó, chiều dương của phương trình và hướng lực và độ lớn của các momen xoắn được xác định trong sơ đồ phân tích lực (Hình 4) và Bảng 2.



Hình 4: Sơ đồ phân tích lực

Bảng 2: Momen xoắn tác dụng

Momen xoắn	Cánh tay đòn	Lực
Cụm dao	l	$Mg \sin \theta$
Lò xo	$d \cos \theta$	$Kd \sin \theta$
Cản		$B \dot{\theta}$

Áp dụng định luật D’ Alembert trong động lực học tổng quát trong⁷:

$$I\ddot{\theta} = \sum Torque = -\tau_{cm\ dao} - \tau_{l\ xo} - \tau_{cn} \tag{1}$$

$$\Leftrightarrow M.l^2.\ddot{\theta} = -M.g.\sin\theta.l - K.d^2.\sin\theta\cos\theta - B.\dot{\theta}$$
$$\Leftrightarrow M.l^2.\ddot{\theta} + B.\dot{\theta} + (M.g.l + K.d^2).\theta = 0$$

Trong công thức lượng giác, điều kiện góc trong phương trình nhỏ hơn 10 độ nên $\sin \theta \sim \theta$ và $\cos \theta \sim 1$.

Để tìm được phương trình góc biến thiên theo thời gian $\theta \sim (t)$ áp dụng công thức phương trình vi phân bậc hai cho hàm gốc là:

$$A\ddot{\theta} + B\dot{\theta} + C\theta = 0 \tag{2}$$

Trong đó:

- $A = M.l^2$
- $B = B$
- $C = M.g.l + K.d^2$

Một phương trình vi phân bậc hai có thể được biểu diễn bằng một phương trình đặc trưng có dạng:

$$A\lambda^2 + B\lambda + C = 0$$

Theo R.C.Hibbeler⁷ phương trình λ có dạng:

$$\lambda(t) = e^{\alpha t}(C_1\cos\beta t + C_2\sin\beta t) \tag{3}$$

Do được thả tự do không vận tốc đầu từ vị trí ban đầu nên

$$\begin{cases} \theta(0) = \theta_0 \\ \dot{\theta}(0) = 0 \end{cases}$$

$$\Rightarrow \begin{cases} C_1 = \theta_0 \\ \alpha C_1 + \beta C_2 = 0 \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} C_1 = \theta_0 \\ C_2 = -\frac{\theta_0 \alpha}{\beta} \end{cases}$$

Như vậy phương trình (3) trở thành:

$$\theta(t) = \theta_0 e^{\alpha t} \left(\cos \beta t - \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t \right) \quad (4)$$

Mô hình hóa phương trình:

Chọn một bộ thông số ban đầu như Bảng 3:

Bảng 3: Các thông số mẫu

Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Θ_0	8.86	độ
M	1.6	kg
B	4	N. m. s/ rad
g	9.81	N/m ²
l	0.1	m
d	0.05	m
K	170	N/m

Áp dụng công thức giải phương trình vi phân bậc hai (4) ta được phương trình $\theta(t)$:

$$\theta(t) = 8,86 e^{\alpha t} \left(\cos \beta t - \frac{\alpha}{\beta} \sin \beta t \right)$$

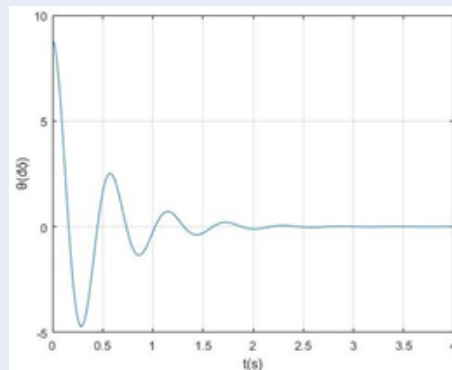
Trong đó:

$$\alpha = -\frac{B}{2.M.l^2}$$

$$\beta = \sqrt{\frac{M.g.l+K.d^2}{M.l^2} - \frac{B}{2.M.l^2}^2}$$

THẢO LUẬN

Vị trí của dao cắt theo phương thẳng đứng được mô tả ở Hình 5. Như vậy, biên độ dao động lớn nhất của lưỡi dao là $\pm 5^\circ$, thời gian để lưỡi dao ổn định là 1 s. Đây là biên độ và thời gian phù hợp để cụm dao cắt đạt độ ổn định để thực hiện việc gọt vỏ.



Hình 5: Đồ thị dao động tắt dần

KẾT LUẬN

Bài báo thiết lập và mô phỏng lại góc di chuyển của cụm gọt vỏ theo thời gian, nắm bắt được thời gian cụm dao hồi về vị trí ban đầu. Các đại lượng có thể được điều chỉnh sao cho phù hợp với quy mô sản xuất yêu cầu. Hơn thế nữa, hệ thống có tính linh hoạt, phù hợp với nhiều loại củ khác nhau. Bài nghiên cứu này là một trong những bước đầu tiên trong quá trình tính toán, mô phỏng quỹ đạo di chuyển của cụm dao cắt, từ đó giúp tối ưu chiều sâu cắt và năng suất để đáp ứng với nhu cầu thị trường.

LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả xác nhận không có xung đột lợi ích trong quá trình nghiên cứu bài báo này.

ĐÓNG GÓP CỦA TÁC GIẢ

Nhóm tác giả vận dụng các kiến thức về động lực học, bước đầu phân tích và cho ra được thời gian tối thiểu để bào một củ cà rốt. Các thành viên đều có đóng góp như nhau trong nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. T FAOSTA. Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAOSTAT Stat Database. 2013;.
2. Snee DR. A useful method for conducting carrot shape studies". Journal of Horticultural Science. 2015;47(3):267–277.
3. GmbH H. Peeling machine. European Patent Office EP. 1997;0.
4. GmbH H. Messereinheit zum Schälen von langgestrecktem Schälgut. Deutsches Patent- und Markenamt DE. 2016;10.
5. GmbH FFE. Schnitteinheit einer Schälvorrichtung. Deutsches Patent- und Markenamt DE. 2016;10.
6. GmbH HEPRO. Universal Peeling Machine Hepro UP-8000";Available from: <https://www.hepro-gmbh.de/en/products/up-8000>.
7. RCHibbeler. Dynamics". Pearson Prentice Hall, United States of America; 2010.

A Dynamic model of cutting cluster motion in carrot peeling machine

Banh Quoc Nguyen^{1,2,*}, Nguyen Hoan^{1,2}, Pham Hoang Son^{1,2}



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

¹Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Ho Chi Minh City, Vietnam

²Hồ Chí Minh Vietnam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Correspondence

Banh Quoc Nguyen, Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Ho Chi Minh City, Vietnam

Hồ Chí Minh Vietnam National University Ho Chi Minh City, Ho Chi Minh City, Vietnam

Email: bqnguyen@hcmut.edu.v

History

- Received: 17-09-2023
- Revised: 09-11-2024
- Accepted: 05-08-2025
- Published Online: 12-09-2025

DOI :

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v8i3.1201>



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



ABSTRACT

Carrot peeling machines incorporating multi-blade mechanisms arranged along a circular arc have been developed globally to meet growing market demands through high operational throughput. This study presents a comprehensive analysis of the motion trajectory and force interactions of the main cutting assembly in an industrial-scale carrot peeling machine. A mathematical model of the peeling process is established using key design and physical parameters, including component geometry, frictional characteristics of mechanical joints, material properties, carrot morphology, and the required peeling force. The model facilitates prediction of the return time of the cutting blades to their initial position, with the derived time-response diagram correlating to the dynamic cycle of the peeling operation. The model not only accurately captures the oscillatory behavior of the cutting unit but also supports flexible parameter adjustment to accommodate the diverse size and shape variations of carrots in domestic agricultural production. This work constitutes a pivotal advancement toward the localization of peeling technology, addressing the economic constraints posed by high-cost imported machinery. The study provides a solid scientific basis for domestic equipment manufacturers to design, simulate, and optimize peeling systems, ultimately improving production efficiency and reducing investment costs. Additionally, the developed model forms the foundation for future research focused on productivity optimization of the cutting assembly. Currently, carrot peeling machines employing a multi-blade mechanism arranged in a circular arc have been designed and developed by various countries worldwide to meet the high demand of the market. Throughout this paper, the focus will be on analyzing the trajectory and the forces exerted by the primary cutting assembly in industrial carrot peeling machines. Before evaluation, the process of the peeling component will be mathematically modeled based on parameters such as: dimensions, friction, material properties and the peeling force. Consequently, based on the mathematical model with initial design parameters, the paper uncovered the graph of returning time in the peeling component. The resulting time gap aligns with the response cycle during the carrot peeling process. This study has established a foundation for optimizing the productivity calculation of the peeling component.

Key words: carrot peeler machine, damped oscillation, second-order differential equation

Cite this article : Quoc Nguyen B, Hoan N, Hoang Son P. **A Dynamic model of cutting cluster motion in carrot peeling machine.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2025; 8(3):2607-2611.