

NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN THIẾT KẾ LỒNG QUAY CỦA MÔ HÌNH MÁY LY TÂM CHO RAU CẮT TƯƠI DẠNG MẺ

Nguyễn Nhân Sâm¹

Đặng Hoàng Minh²

Bùi Trung Thành³

Lịch sử bài báo

Ngày nhận bài: 05/10/2025

Ngày phản biện: 10/10/2025

Ngày duyệt đăng: 19/01/2026

TÓM TẮT

Nghiên cứu đề cập đến nội dung nghiên cứu lý thuyết trong tính toán về thiết kế một loại lồng quay của mô hình máy ly tâm chuyên dùng làm khô ráo rau cắt tươi sau khi chúng đã được rửa sạch có năng suất 2kg/mẻ, nhằm đáp ứng nhu cầu “rau ăn liền” cho người lao động sống ở khu vực thành thị tiết kiệm thời gian nấu ăn trong gia đình sau giờ làm việc. Nghiên cứu đã sử dụng số liệu thực nghiệm cho rau cải xanh cắt lát phạm vi 4cm có khối lượng riêng thể tích là 303kg/m³ cùng với việc lựa chọn số vòng quay của lồng quay là 600 vòng/phút. Nghiên cứu đã xác định được thể tích lồng quay chứa rau cần ly tâm là 9,2.10⁻³ m³ và đã cho ra kích thước 5 lồng quay (đường kính x

chiều dài) gồm: (150 x 500)mm; (200 x 320)mm; (250 x 210)mm; (300 x 150)mm và (350 x 115) mm. Nghiên cứu đã chọn lồng quay kích thước (200 x 320) mm, số vòng quay 600 vòng/phút để thực hiện tính toán. Kết quả đã tính được: Lực ly tâm tương đương $F = 32,5N$, áp suất ly tâm $P_{max} = 3739,76 N/m^2$, ứng suất kéo $= 697287,55 N/m^2$, đường kính lỗ $d = 10mm$, số lỗ 1216 và số tỷ lệ thoát nước $= 47,5\%$ và khoảng cách các lỗ theo chiều ngang và chiều dọc là 12,8mm. Ở chiều dày vật liệu chế tạo lồng quay $min = 1,2 mm$ cho thời gian thoát nước là 0,5 phút.

Từ khóa: Khả năng phân ly, máy ly tâm, ly tâm làm khô rau, lồng quay, lực ly tâm.

STUDYING OF DESIGNING CALCULATION A ROTATING CAGE OF CENTRIFUGE MODEL FOR BATCH FRESH CUT VEGETABLES

ABSTRACT

The study deals with the designing and calculating of a rotating cage of a centrifuge model specialized in dried fresh cut vegetables after they have been washed with the capacity of 2kg/batch. This study meet the demand of "instant vegetables" for people are living in urban areas that saving time for cooking at home after works.

Studying used experimental data for 4cm-sized sliced of the green vegetables having the bulk density of 303kg/m³ and selected the number of rotations of the rotating cage of 600 rpm.

This studying determined the volume of the the rotating cage to be 9.2 x 10⁻³ m³ and five rotating cages (diameter x length) including: (150 x 500) mm; (200 x 320)mm; (250 x 210)mm; (300 x 150) mm and (350 x 115)mm.

The studying selected a rotating cage with

dimensions of (200 x 320) mm and a rotation speed of 600 rpm to perform the calculation. The calculated results were: the Equivalent centrifugal force $F = 32.5N$, the centrifugal pressure $P_{max} = 3739.76 N/m^2$, the tensile stress $= 697287.55 N/m^2$, the hole diameter $d = 10mm$, number of holes 1216 and the drainage ratio $= 47.5\%$ and the distance between holes horizontally and vertically is 12.8mm. At the thickness of the material used to make the rotating cage $min = 1.2mm$, gives the drainage time of 0.5 minutes.

Keywords: Centrifuge, centrifugal force, rotating cage, separation capacity, vegetable drying centrifuge.

Keywords: agricultural mechanization; agricultural policy; concentrated raw material zones; mechanization capacity; value chain.

¹ Phòng Quản lý khoa học và Hợp tác quốc tế, Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

² Khoa Công nghệ Cơ Khí, Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

³ Khoa Công nghệ Nhiệt Lạnh, Trường Đại học Công nghiệp TP. Hồ Chí Minh

Tác giả liên hệ: buitrungthanh@iuh.edu.vn

1. GIỚI THIỆU

Chất lượng của sản phẩm rau ăn lá cắt tươi bày bán trên các kệ của siêu thị phụ thuộc vào chất lượng lát rau còn nguyên vẹn, đủ khô để có thể bảo quản trong một số ngày cho đến khi nấu trên bếp. Yếu tố chính quan trọng tạo nên sự ổn định của sản phẩm rau ăn lá cắt tươi sau rửa sạch là kiểm soát độ ẩm sau khi rửa, như vậy yêu cầu rau sau khi cắt tươi và rửa phải được loại bỏ nước đến độ ẩm yêu cầu để ngăn chặn sự hư hỏng do sự phát triển nhanh của các vi khuẩn hoặc enzyme, nhưng không làm rau được dập nát [1]. Trên thị trường hiện đang có một số phương pháp làm ráo nước cho rau sau rửa gồm: ly tâm, sàng rung, thổi khí. So sánh 3 phương pháp làm khô nói trên thì phương pháp ly tâm đang được ứng dụng phổ biến hơn, bởi tính tiện dụng, cho năng suất cao, chi phí đầu tư thấp [2].

Thực tế trên thị trường hiện nay chưa có máy ly tâm chuyên dùng làm khô rau sau sơ chế. Máy ly tâm cho rau sau cắt tươi có yêu cầu kỹ thuật khác biệt là do rau ăn lá có nhiều nách lá, bề mặt lá nhăn nheo, nước dễ bị đọng tại các túi [3]. Việc loại bỏ nước khó khăn hơn. Khi thực hiện ly tâm tách nước không tốt nước sẽ còn đọng lại dẫn đến phát triển vi sinh vật, làm giảm tuổi thọ rau trong các bao gói khi bảo quản trên kệ tại các siêu thị. Để có thể tách nước triệt để, người ta phải kéo dài thời gian ly tâm hoặc phải tăng lực ly tâm hoặc kết hợp cả 2 giải pháp. Việc tăng lực ly tâm và kéo dài thời gian ly tâm quá mức không những gây tổn thương tế bào trên lá rau mà còn tiêu hao nhiều năng lượng điện dẫn đến giá thành bán rau tươi trở nên thiếu tính cạnh tranh hơn.

Khi máy ly tâm làm việc, lồng quay quay xuất hiện lực ly tâm phá vỡ lực liên kết giữa vật liệu ướt cần làm khô với chất lỏng bám dính theo [4]. Khi lồng quay quay, chất lỏng bám dính theo vật liệu có

khối lượng riêng lớn hơn vật liệu ướt cần làm khô được tách ra và văng ra ngoài thông qua các lỗ trên thành lồng quay theo lực ly tâm. Số vòng quay của lồng quay càng lớn, bán kính lồng quay càng lớn thì lực ly tâm càng lớn cho ra khả năng tách nước ra khỏi vật ẩm càng nhanh [5]. Ngoài ra mật độ lỗ trên lồng quay hay còn gọi là tỷ lệ diện tích lỗ trên thành lồng quay (f) với diện tích xung quanh của lồng quay (A) hay được gọi tắt là số tỷ lệ thoát nước qua thành lồng (λ) cũng ảnh hưởng lớn đến khả năng phân ly [6],[7]. Theo [7] số tỷ lệ (λ) có liên quan đến khả năng phân phối lưu chất thoát qua lồng quay nhanh hay chậm, đồng đều hay không đồng đều.

Phạm vi bài báo chỉ trình bày cơ sở thiết kế lồng quay, các tính toán thiết kế về lồng quay và kiểm tra bền theo chỉ tiêu ứng suất và chuyển vị theo chiều dày chế tạo thành lồng quay liên quan đến số tỷ lệ diện tích lỗ thoát nước tốt nhất trên lồng quay của mô hình máy ly tâm rau cắt tươi có năng suất 2kg/ mẻ. Việc nghiên cứu này làm cơ sở để thực hiện công tác thiết kế và chế tạo hoàn chỉnh một mô hình máy ly tâm rau đã cắt sau sơ chế để tiến hành thực nghiệm trong các bước tiếp theo của nghiên cứu máy ly tâm trong dây chuyền sơ chế rau ăn lá “ăn liền” trong thực tiễn.

2 VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

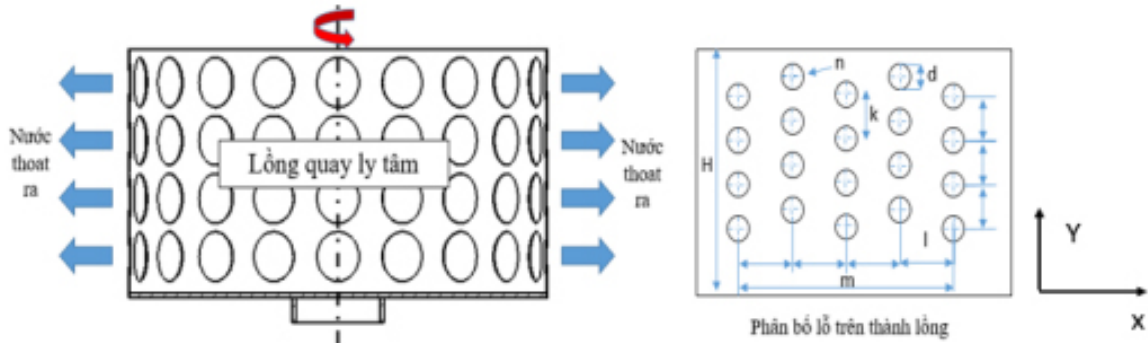
2.1 Lồng quay của máy ly tâm

Lồng quay (centrifuge basket) là bộ phận quan trọng của máy ly tâm, có vai trò trực tiếp trong quá trình tách pha lỏng khỏi pha rắn (hoặc bán rắn) dưới tác dụng của lực ly tâm. Lồng quay được bố trí gắn trên một trục quay, được dẫn động quay bởi một động cơ điện có số vòng quay tương đối cao. Bề mặt thành lồng thường được gia công các lỗ nhỏ hoặc khe hở để chất lỏng dính theo vật ướt có thể thoát ra khỏi vật và văng ra khỏi lồng quay nhờ lực ly tâm, trong khi đó vật liệu cần

được làm khô thì được giữ lại bên trong thành lồng.

Quá trình ly tâm tách nước ra khỏi rau sau công đoạn rửa được mô tả như sau: Trước tiên cho rau sau rửa vào lồng quay, tiếp theo cho máy ly tâm làm việc. Khi lồng quay quay, lực ly tâm xuất hiện, dưới tác dụng của lực ly tâm rau ướt bị

ép vào xung quanh thành trong của lồng, lúc này (nước) trong vật ẩm có khối lượng riêng lớn hơn bị văng ra khỏi rau thông qua các lỗ thoát nước trên thành lồng, rau có khối lượng riêng nhỏ hơn được giữ lại bên trong thành lồng quay. Việc tách pha lỏng khỏi rau ẩm nhờ sự khác biệt về khối lượng riêng của rau và nước.



Hình 1. Nguyên lý thoát nước ly tâm và phân bố lỗ ly tâm theo chiều dọc và theo chiều ngang trên thành lồng quay

2.2 Phân tích các thông số liên quan đến chất lượng làm việc của lồng quay máy ly tâm

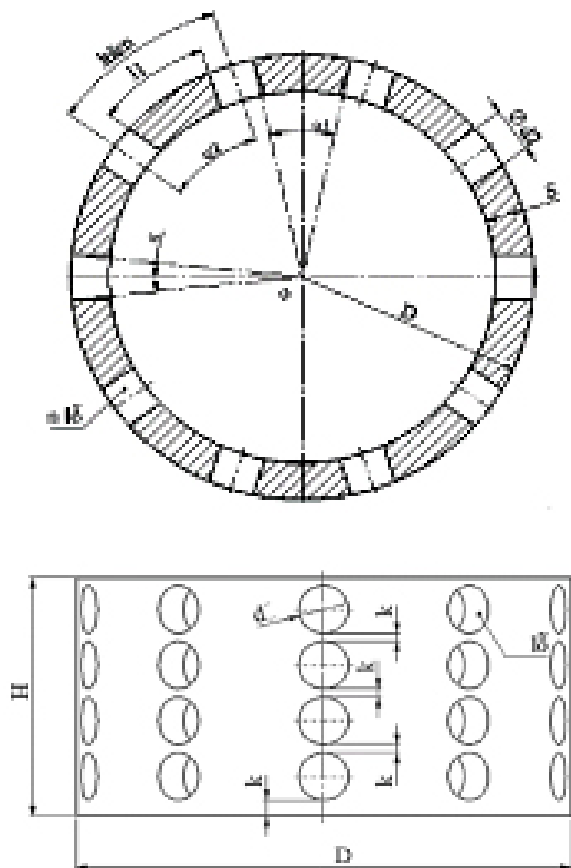
Các thông số then chốt trong tính toán thiết kế một lồng quay tốt cho máy ly tâm gồm: đường kính lồng (D), chiều cao lồng (H), hình dạng và đường kính lỗ thoát nước (d), số lỗ thoát nước trên thành lồng (n), tỷ số của tổng diện tích lỗ thoát nước (f) và diện tích xung quanh thành lồng quay (A) (ký hiệu trong nghiên cứu này là ϕ); phân bố lỗ thoát nước trên thành lồng quay và chiều dày vật liệu làm lồng quay. Các thông số này ảnh hưởng trực tiếp đến thể tích chứa, hiệu suất tách nước và khả năng chịu lực ly tâm khi lồng quay làm việc [8]. Sau đây ta đi phân tích một số thông số:

Kích thước lỗ thoát nước (d) trên thành lồng quay: Trường hợp kích thước lỗ quá lớn so với lát rau cắt cần ly tâm sẽ cho phép nước trong hỗn hợp rau - nước

nhẹ chóng được tách và thoát qua thành lồng, trong khi đó một số lát rau cắt cũng có thể bị cuốn theo pha lỏng ra ngoài gây hao tổn thất rau khô thu được sau ly tâm. Ngược lại trường hợp lỗ thoát nước quá nhỏ sẽ xảy ra chiều hướng, rau sẽ che lấp các lỗ thoát nước dẫn đến hiệu suất tách nước ra khỏi rau bị suy giảm dần, có thể tạo ra các dòng chảy cục bộ trong khối rau dẫn đến phân bố áp suất lên thành lồng không đồng nhất, gây ra hiện tượng mất cân bằng cục bộ, gây mỏi cục bộ dẫn đến phá hủy lồng quay [9].

Số lỗ thoát nước: Số lỗ thoát nước liên quan đến tỷ số thoát nước sẽ lớn. Số tỷ lệ thoát nước (ϕ) ảnh hưởng đến thời gian ly tâm. Số tỷ lệ thoát nước (ϕ) trên lồng quay lớn cho phép pha lỏng phía trong lồng quay được thoát ra nhanh hơn, nhiều hơn, ngược lại diện tích thoát nước của lồng quay thấp sẽ làm lượng nước thoát ra thấp hơn, chậm hơn dẫn đến kéo dài thời gian ly tâm hơn.

Theo [9] lồng quay có diện tích thoát nước cao thì máy ly tâm cũng sẽ cho năng suất ly tâm cao hơn, tiết kiệm năng lượng điện hơn.



Hình 2. Đường kính lỗ thoát nước và bố trí lỗ theo chu vi và theo chiều cao lồng

Phân bố lỗ thoát nước trên thành lồng quay: Các lỗ thoát nước được phân bố đều, đến tận mép lồng quay, điều này sẽ cải thiện độ đồng đều của quá trình ly tâm. Các lỗ thoát nước có thể được phân bố theo dạng tam giác cân hoặc tam giác đều hoặc dạng hình chữ nhật hoặc hình vuông [7] với các bước bố trí đều trên thành lồng quay. Trên Hình 1 và Hình 2 thể hiện phân bố lỗ theo chiều dọc lồng theo phương y là (k) và theo phương x là (l). Việc bố trí (k) và (l) hợp lý không chỉ tối ưu cho hiệu quả thoát nước mà còn ảnh hưởng đến phân bố ứng suất và độ bền của lồng quay ly tâm (Hình 1 và Hình 2). Phân bố lỗ thoát

nước trên lồng quay cũng là thông số gây ảnh hưởng đến phân bố ứng suất trên lồng quay. Các lỗ trên thành lồng tạo ra các điểm tập trung ứng suất, là nguyên nhân chính làm suy giảm độ bền của lồng, đặc biệt dưới tác dụng của tải trọng của lực ly tâm tác dụng lên thành lồng [10].

Kích thước lồng quay: Kích thước lồng quay được đề cập gồm đường kính (D) và chiều cao lồng quay (H). Theo Zhao Zhiguo và các cộng sự [11] đã thực hiện nghiên cứu phân tích mô phỏng lồng quay trên phần mềm Ansys cho thấy rằng đường kính lồng quay ngoài liên quan đến lực ly tâm thì có ảnh hưởng lớn đến ứng suất và biến dạng lồng quay ly tâm, trong khi đó thông số chiều cao của lồng quay không ảnh hưởng đến ứng suất lồng quay ly tâm.

2.3 Phân tích một số yếu tố ảnh hưởng đến thiết kế lồng quay máy ly tâm

Một thiết kế lồng quay tốt yêu cầu phải bảo đảm khả năng tách được nước ra khỏi vật liệu ướt cao nhất, độ bền kết cấu, tuổi thọ dài nhất, nhưng chi phí sản xuất máy thấp nhất. Ta phân tích một số yếu tố ảnh hưởng đến độ bền và tuổi thọ của lồng quay máy ly tâm như sau:

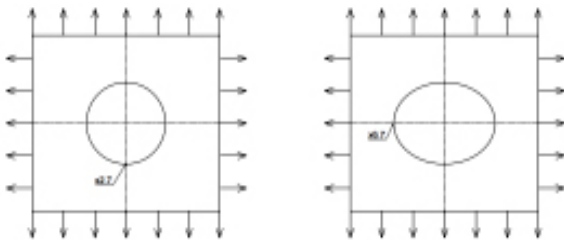
Ứng suất tập trung cao: Xung quanh các lỗ thoát nước và các điểm chuyển tiếp hình học giữa các lỗ, là các điểm tập trung ứng suất nên sẽ dẫn đến nguy cơ gây nứt gãy cục bộ thành lồng quay [12].

Rạn nứt do mỏi: Lồng quay ly tâm khi làm việc do chịu các tải trọng theo chu kỳ trong quá trình khởi động/dừng, cũng như rung động trong quá trình vận hành, dễ dẫn đến hỏng mỏi nếu không được thiết kế và tính toán tốt [13].

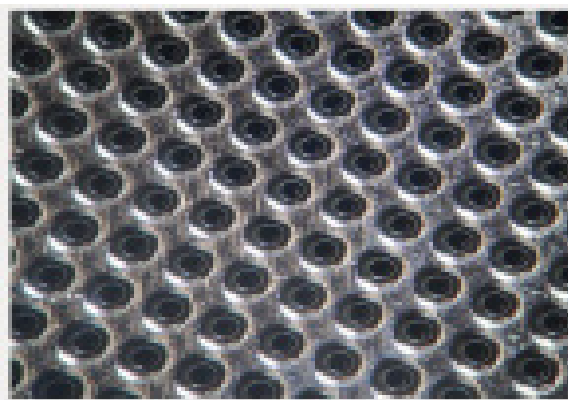
Rung động và cộng hưởng: Tần số quay của lồng có thể trùng hoặc gần với một trong các tần số dao động riêng của nó, gây ra hiện tượng cộng hưởng, dẫn đến rung động lớn, biến dạng quá mức và tiềm ẩn nguy cơ phá hủy [12], [13].

Độ cứng không đủ: Lồng quay cần có độ cứng đủ để hạn chế biến dạng dưới tải trọng của lực ly tâm gây ra [12].

Hình dạng lỗ thoát nước trên lồng quay: Hình dạng lỗ thoát nước trên lồng quay cũng là thông số trong thiết kế cần quan tâm đến phân bố ứng suất quanh các lỗ thoát nước. Theo [10] khi hoạt động các áp lực tác dụng lên thành lồng quay là phân bố đều trên 4 hướng, điều này dễ thấy khi thành lồng quay bị biến dạng nở rộng ra. Từ đó, ta thấy các lỗ trên thành lồng quay sẽ chịu ứng suất kéo là lớn nhất và làm biến dạng lỗ. Các điểm ở mép lỗ sẽ gây ra ứng suất lớn nhất. Theo [11] [12] [13] cho thấy các điểm gây ứng suất lớn nhất ở trường hợp dạng lỗ tròn nhỏ hơn là 6,7 lần so với dạng lỗ elip (Hình 3). Trên cơ sở đó trong nghiên cứu này lựa chọn hình dạng lỗ tròn để gia công lồng ly tâm.



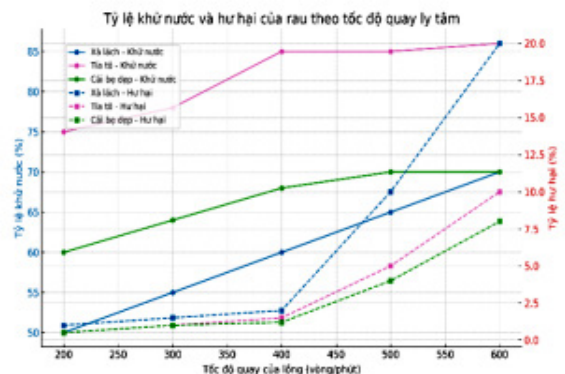
Hình 3. Ứng suất cực đại trên lỗ thoát nước trên lồng quay dạng tròn và lỗ dạng hình elip [12]



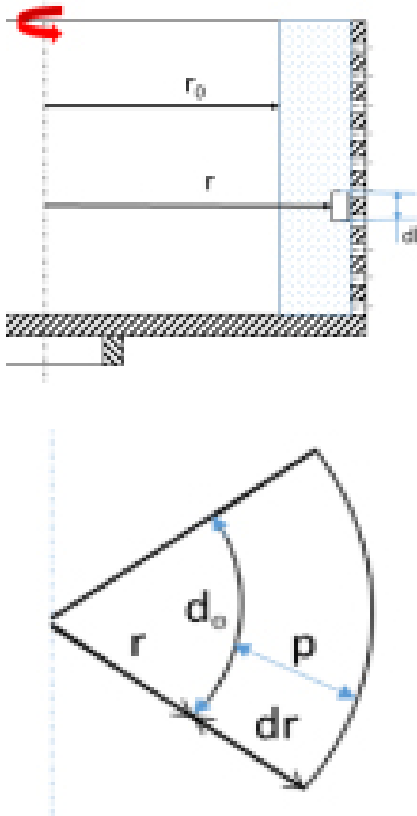
Hình 4. Dạng lỗ và bố trí lỗ trên thành lồng máy ly tâm đường mía.

Số vòng quay của lồng quay ly tâm: Số vòng quay an toàn cho các máy ly tâm dạng mẻ nằm trong khoảng từ 0 - 1000 vòng/ phút, theo nghiên cứu của Hong và các cộng sự [14] đã thực hiện ly tâm làm khô rau trên các loại rau ăn lá Cải Thừa, Tía Tô, Xà lách kết quả tác giả đề xuất tốc độ ly tâm hợp lý từ 300 - 400 vòng/ phút sẽ có kết quả lên đến 65% và có lượng rau hư hỏng thấp 5%.

Theo [15] số vòng quay ly tâm từ 500 - 600 vòng/phút có tỷ lệ khử nước từ 70 - 85% cho thấy hiệu quả tách nước cao. Tuy nhiên tỷ lệ hư hại rau cũng tăng theo tốc độ, các loại rau có tính chất bền cao như tía tô và cải thừa có tỷ lệ hư hỏng <10% tại tốc độ 600 vòng/ phút. Từ kết quả nghiên cứu theo [15], để đảm bảo tính an toàn, tính kỹ thuật và đáp ứng được khả năng hoạt động hiệu quả và năng suất, nghiên cứu chọn thông số tốc độ vòng quay của máy ly tâm rau ăn lá trong khoảng số vòng quay tối đa $n_{max} = 600$ vòng/phút [16] để tính toán thiết kế lồng quay. Số vòng quay tối ưu sẽ được hiệu chỉnh trên cơ sở thực nghiệm không làm dập rau trong bài toán tối ưu hóa tiếp theo.



Hình 5 Biểu đồ tỷ lệ khử nước và hư hại của rau theo số vòng quay của lồng quay ly tâm [15]



Hình 6. Phân bố các kích thước trên lồng quay ly tâm

2.4 Áp suất ly tâm tác dụng lên thành lồng quay

Theo [16] ta thực hiện một số tính toán về lực ly tâm và áp suất tác dụng lên thành lồng

Lực ly tâm tác dụng lên lồng quay được biểu diễn (PT1)

$$dF = \rho \cdot r \cdot \omega^2 d\theta d_r d_l \quad (1)$$

Trong đó: F- lực ly tâm tác dụng lên lồng quay ly tâm, N;

ρ_{rau} - khối lượng riêng thể tích của rau trong lồng quay, kg/m^3

Ta xét điều kiện cân bằng trên lồng quay ly tâm và các phép biến đổi ta có được phương trình tính áp suất ly tâm tác dụng lên thành lồng quay

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{2} \rho \cdot r \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \rho \cdot r_0 \omega^2 \\ &= \frac{1}{2} \rho \omega^2 (r^2 - r_0^2) \end{aligned} \quad (2)$$

Và rút ra P_{max}

$$P_{max} = \frac{\rho \cdot \omega^2 (r^2 - r_0^2)}{2} \quad (3)$$

Trong đó: ρ - khối lượng riêng của rau cần ly tâm kg/m^3 ; ω : vận tốc góc rad/s ; r - bán kính trong của lồng quay, m ; P - áp suất, N/m^2 ; r_0 - bán kính bề mặt thoát của chất lỏng trong lồng quay, m .

Bán kính bề mặt thoát của chất lỏng trong lồng quay (r_0) được thiết lập qua (PT4)

$$r_0 = r \sqrt{1 - \beta} \quad (4)$$

Mô hình phân bố áp suất lên thành lồng quay ly tâm theo chiều cao H của lồng quay được thiết lập theo (PT5)

200mm. (Giá trị có $r = 105$ mm và $z = 200$ mm là giá trị lựa chọn từ thể tích lồng cần chứa rau theo năng suất $2kg/m^2$, lát cắt rau phạm vi 3- 4 cm và khối lượng riêng thể tích $\rho = 303,15$ kg/m^3)

Để tránh việc rau văng ra ngoài khi đang ly tâm tách nước, theo [8], ta nhân thêm hệ số thực nghiệm $k = 1,33$

$$\begin{aligned} V &= 0,006927211801 \cdot 1,33 \\ &= 0,009236282401 m^3 \end{aligned}$$

Với thể tích lồng quay chứa $V = 0,00963421733 m^3$, ta có được dãy các kích thước các loại lồng quay có cùng thể tích chứa ($D \times H$) của máy ly tâm gồm: (150 x 500) mm, (200 x 320) mm, (250 x 210) mm, (300 x 150) mm và (350 x 115) mm.

Ta chọn lồng quay kích thước (200 x 320) mm để thực hiện tính toán các thông số liên quan đến quá trình ly tâm.

3.2 Tính toán vận tốc góc của máy ly tâm

$$\Omega = \frac{\pi n}{30} = \frac{\pi \cdot 600}{30} = 62,83 \frac{rad}{s} \quad (7)$$

Trong đó: chọn số vòng quay của máy ly tâm $n = 600$ vòng/phút (theo [15])

Trong đó:

$$\beta = \frac{z}{H} \quad (5)$$

Trong đó: β – hệ số chứa đầy; H – Chiều cao lồng quay, m; z : chiều cao ban đầu của hỗn hợp rau đã cắt và được rửa (rau vừa được rửa sạch và vớt ra đưa vào máy ly tâm), m.

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN THIẾT KẾ LỒNG QUAY

3.1 Tính toán kích thước lồng quay mô hình máy ly tâm.

Thể tích lớn nhất của lồng chứa rau

$$\begin{aligned} V &= \pi \cdot r^2 \cdot z \quad (6) \\ V &= \pi \cdot r^2 \cdot z = \pi \cdot 105^2 \cdot 200 \\ &= 6927211,801 \text{ mm}^3 \\ &= 0,006927211801 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Trong đó:

r : bán kính lồng quay là 105 mm

z : chiều cao của rau trong lồng quay là

3.3 Tính toán một số thông số liên quan đến phân ly

Lực ly tâm:

$$\begin{aligned} F &= m \omega^2 R_{tb} = \frac{m(\pi n)^2 R_{tb}}{900} \\ &= \frac{2,2 (\pi \cdot 600)^2 \cdot 0,0806185}{900} \\ &= 700,192 \text{ N} \quad (8) \end{aligned}$$

Lực trọng trường:

$$F_m = m \cdot g = 2,2 \cdot 9,8 = 21,56 \text{ N} \quad (9)$$

Trong đó:

F - lực ly tâm, N.

m - khối lượng rau trong lồng quay (giá trị $m = 2,2$ kg được tính tăng lên 10% để an toàn cho việc cấp rau vào máy ly tâm không đều khi thực nghiệm).

n - số vòng quay của roto, vòng/phút.

g - gia tốc trọng trường m/s^2 .

R_{tb} - bán kính quay trung bình của rau trong lồng quay, m;

$$\begin{aligned} R_{tb} &= \frac{r_o + r}{2} \\ &= \frac{0,061237 + 0,1}{2} = 0,0806185 \text{ m} \quad (10) \end{aligned}$$

r : bán kính trong của lồng quay là 100 mm hay 0,1m

r_o : bán kính bề mặt thoáng của chất lỏng trong lồng quay, m.

$$\begin{aligned} r_o &= r \sqrt{1 - \beta} = 100 \sqrt{1 - 0,625} \\ &= 61,237 \text{ mm} = 0,061237 \text{ m} \quad (11) \end{aligned}$$

$$\beta = \frac{z}{H} = \frac{200}{320} = 0,625 \quad (12)$$

Trong đó: β – hệ số chứa đầy được xác định theo; H - Chiều cao lồng quay, 320mm; z - chiều cao của rau trong lồng quay, 200mm

Lực ly tâm tương đương được tính theo [8],[16]

$$F_{RCF} = \frac{F}{F_m} = \frac{700,192}{21,56} = 32,476 \text{ N} \quad (13)$$

3.4 Tính toán áp suất ly tâm tác dụng lên thành lồng quay

Theo [17] tính toán áp suất ly tâm của rau tác dụng lên thành lồng

$$\begin{aligned} P_{\max} &= \frac{\rho_{\text{rau}} \omega^2 (r^2 - r_o^2)}{2} \\ &= \frac{303,15 \times 62,83^2 (0,10^2 - 0,061237^2)}{2} \\ &= \frac{3,739,76 \text{ N}}{\text{m}^2} \quad (14) \end{aligned}$$

Trong đó: ρ_{rau} - khối lượng riêng thể tích rau cải xanh sau rửa (thực nghiệm đã xác định rau cải xanh lát cắt 4 mm có $\rho_{\text{rau}} = 303,15 \text{ kg/m}^3$), ω - vận tốc góc rad/s; r - bán kính trong của lồng quay, m; r_o - bán kính bề mặt thoáng của chất lỏng trong lồng quay, m.

Cũng cách tính này ta cũng có được áp suất ly tâm tác dụng lên lồng quay cho các loại lồng quay có các kích thước khác nhau ($D \times H$): (150 x 500) mm, (200 x 320)mm, (250 x 210)mm, (300 x 150) mm và (350 x 115) mm.

3.5. Tính toán ứng suất ly tâm

Lồng quay chịu lực ly tâm khi quay, gây ra ứng suất kéo.

$$\sigma = \rho_{\text{inox}} \times \omega^2 \times r^2 \quad (15)$$

$$\sigma = 7850 \times \left(\frac{\pi \times 600}{30} \right)^2 \times \left(\frac{0,210}{2} \right)^2 = 697287,55 \text{ Pa}$$

Trong đó: σ - ứng suất trong lồng quay, Pa; ρ - khối lượng riêng vật liệu không rỉ (thép $\rho_{inox} = 7850 \text{ kg/m}^3$); ω - vận tốc góc (được tính từ $n = 600$ vòng/phút)

3.6. Tính toán chiều dày vật liệu chế tạo lồng quay tối thiểu và tối đa

Tính toán chiều dày vật liệu chế tạo lồng quay theo [17].

$$\delta = \frac{k\sigma}{\sigma_{b\ddot{a}n}} \quad (16)$$

Trong đó: $\sigma_{b\ddot{a}n} = 250 \text{ Mpa} = 250 \times 10^6 \text{ Pa}$; $K = 0,43$ (hệ số an toàn)

Chiều dày vật liệu tối thiểu:

$$\delta_{min} = \frac{\sigma K}{\sigma_{b\ddot{a}n}} = \frac{697287,55 \times 0,43}{250 \times 10^6} = 0,00119 \text{ m} = 1,2 \text{ mm} \quad (17)$$

Chiều dày vật liệu tối đa:

$$\delta_{max} = 2 \times \delta_{min} = 2,4 \text{ mm} \quad (18)$$

3.7 Tính toán thời gian tách nước

Thời gian tách nước (τ) có thể được ước tính theo (PT19) [18]

$$\tau = \varepsilon \left(\frac{m}{A} \right) * \left(\frac{1}{\omega} \right) \quad (19)$$

Trong đó: τ -thời gian tách nước, phút; ε - hệ số phụ thuộc vào đặc tính nguyên liệu và điều kiện quay (được xác định qua thực nghiệm trong trường hợp nghiên cứu này ta chọn $\varepsilon = 1$; m -khối lượng nguyên liệu rau cần ly tâm, kg (khối lượng nguyên liệu được lấy $m = 2,2 \text{ kg}$); A -tổng diện tích lỗ thoát nước, m^2 ; ω - vận tốc góc của lồng, rad/s (số vòng quay máy ly tâm chọn chế độ làm việc thấp, an toàn cho rau theo [15] có $n = 600$ vòng/phút)

3.8 Tính toán số lỗ trên lồng quay và bước lỗ cho loại lồng quay cùng thể tích.

Nghiên cứu đã thực hiện đã xác định được tỷ số thoát nước (ψ) trên lồng quay ly tâm bằng phần mềm solidworks cho giá trị tối ưu là 47,5% (được biểu diễn tại đồ thị Hình 8)

Ta gọi tổng diện tích lỗ thoát nước là f (m^2) và diện tích xung quanh của lồng quay là A (m^2)

Ta lấy lồng quay có kích thước $200 \times 320 \text{ mm}$ để tính toán các thông số liên quan đến số lỗ và bước lỗ như sau:

Diện tích xung quanh bề mặt lồng quay loại kích thước $(200 \times 320) \text{ mm}$

$$A = \pi \times D \times H = \pi \times 200 \times 320 = 200,96 \text{ mm}^2 = 0,201 \text{ m}^2 \quad (20)$$

Trong đó: D : đường kính lồng quay là 200 mm ; H : chiều cao lồng quay là 320 mm

Diện tích lỗ thoát nước được tính:

$$f_{l\ddot{o}} = \pi \times \frac{d^2}{4} = 3,14 \times \frac{10^2}{4} = \text{mm}^2 = 0,0000785 \text{ m}^2 \quad (21)$$

Trong đó: d đường kính lỗ thoát nước trên lồng quay được chọn $d = 10 \text{ mm}$.

Với tỉ lệ diện tích thoát nước trên bề mặt lồng quay đã được xác định ở trên ($\frac{\Sigma f}{A} = 47,5\%$)

$$\Sigma f = 0,475 * A = 0,475 * 0,201 = 0,0955 \text{ m}^2$$

Ta nhận thấy đường kính lỗ thoát nước và tỷ lệ diện tích lỗ và diện tích xung quanh lồng quay có quan hệ mật thiết với nhau, khi đường kính lỗ tăng thì tỷ lệ này sẽ giảm và ngược lại.

Số lỗ thoát nước trên bề mặt lồng quay

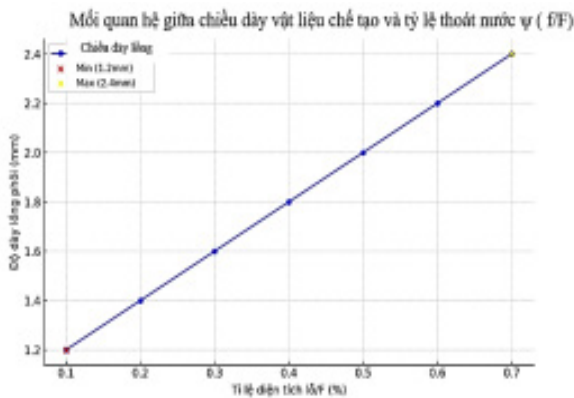
$$n_l = \frac{\Sigma f}{f_{l\ddot{o}}} = \frac{0,0955}{0,0000785} = 1216 \text{ lỗ} \quad (22)$$

Khoảng cách giữa các lỗ thoát nước

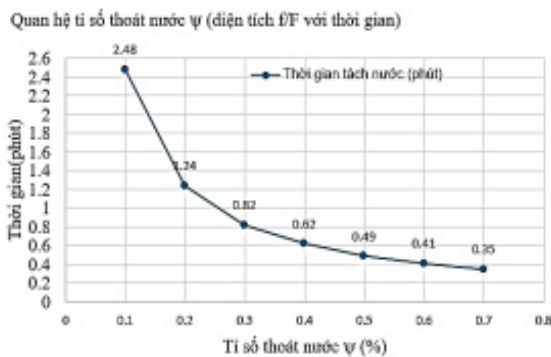
$$\sqrt{\frac{A}{n_l}} = \sqrt{\frac{200,96}{1216}} = 12,85 \text{ mm chọn } 12,8 \text{ mm} \quad (23)$$

3.9 Lựa chọn chiều dày vật liệu chế tạo với tỷ lệ thoát nước và thời gian ly tâm

Để đạt được khả năng tách nước tốt nhất, thời gian ly tâm ngắn nhất thì số tỷ lệ thoát nước (ψ) trên thành lồng quay phải được tối ưu nhất trên cơ sở ràng buộc đảm bảo được độ bền khi hoạt động. Đồ thị Hình 7 biểu diễn quan hệ chiều dày vật liệu chế tạo lồng quay (δ) và số tỷ lệ thoát nước (ψ) cho thấy chiều dày vật liệu chế tạo (δ) tuyến tính với số tỷ lệ thoát nước (ψ) trên thành lồng quay. Hình 8 biểu diễn mối quan hệ thời gian ly tâm (τ) với số tỷ lệ thoát nước (ψ) cho thấy quan hệ giữa thời gian ly tâm (τ) và số tỷ lệ thoát nước (ψ) theo đường Hypebol. Thời gian ly tâm càng giảm đi khi số tỷ lệ thoát nước tăng lên.

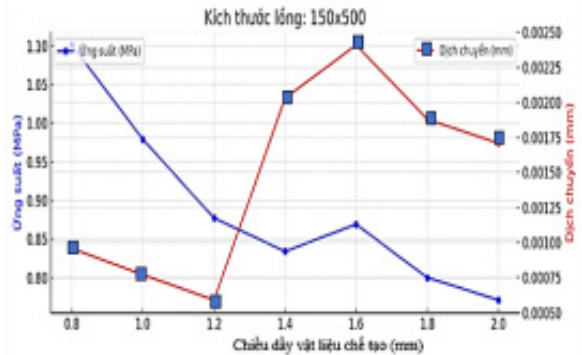


Hình 7. Đồ thị quan hệ giữa chiều dày vật liệu chế tạo và tỷ lệ thoát nước (%)

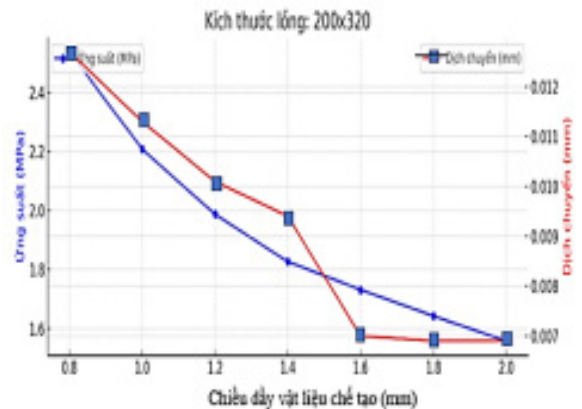


Hình 8. Đồ thị quan hệ tỷ lệ thoát nước (%) với thời gian ly tâm()

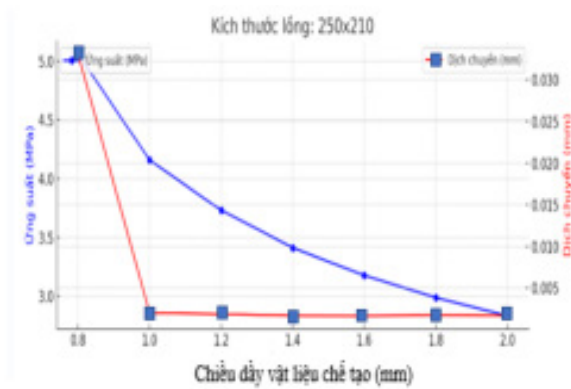
Nghiên cứu tiếp tục thực hiện phân tích ứng suất và chuyển vị cho các loại lồng quay cùng thể tích chứa rau $V = 9,24.10^{-3}$ trên phần mềm solidword theo chiều dày vật liệu chế tạo cho kết quả tại các Hình 9, 10, 11, 12, 13 bên dưới.



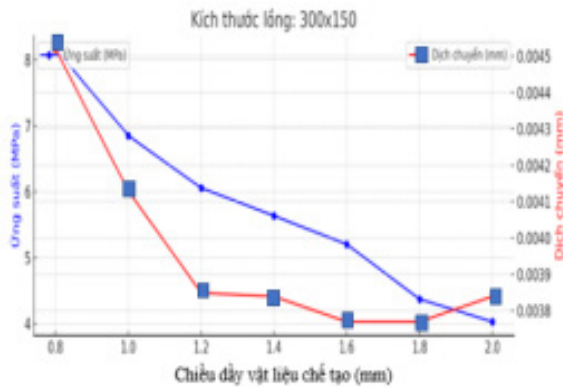
Hình 9. Đồ thị quan hệ dịch chuyển ứng suất và chuyển vị theo chiều dày vật liệu chế tạo lồng quay kích thước (150 x 500)mm.



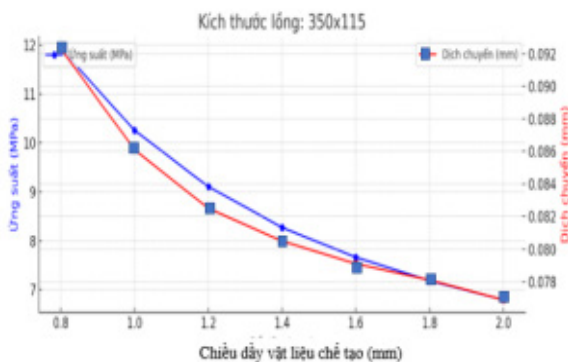
Hình 10. Đồ thị quan hệ dịch chuyển ứng suất và chuyển vị theo chiều dày chế tạo thành lồng quay (200 x 320)mm.



Hình 11. Đồ thị quan hệ dịch chuyển ứng suất và chuyển vị theo chiều dày vật liệu chế tạo thành lồng quay (250 x 210)mm.



Hình 12. Đồ thị quan hệ dịch chuyển ứng suất và chuyển vị theo chiều dày thành chế tạo thành lồng quay (300 x 150)mm.



Hình 13. Đồ thị thể hiện sự dịch chuyển ứng suất và khoảng dịch chuyển theo chiều dày thành lồng của lồng quay có kích thước (350 x 115)mm..

Xét về ứng suất các đồ thị từ Hình 9 đến Hình 13 cho thấy ứng suất có xu hướng giảm khi chiều dày thành lồng tăng. Các lồng có kích thước (350 x 115mm) và (300 x 150mm) có ứng suất cao hơn lần lượt là 12 MPa và 8MPa. Loại lồng quay kích thước nhỏ (150 x 500mm) chỉ có ứng suất là 1,1 Mpa, điều này cho thấy đường kính lồng quay liên quan đến lực ly tâm dẫn đến liên quan đến áp suất tác động lên thành lồng quay và kết quả cho thấy có sự biến thiên về ứng suất tăng dần theo đường kính của lồng. Để thỏa bền cho lồng quay khi làm việc thì chiều dày vật liệu chế tạo cần phải được quan tâm trong thiết kế. Đối với lồng quay kích thước (150 x 500) mm, ứng suất hơi tăng nhẹ tại chiều dày 1,6mm trước khi tiếp tục giảm, điều này là do hiện tượng tập trung ứng suất cục bộ.

Xét về chuyển vị của lồng quay cho thấy, đa số có xu hướng giảm khi chiều dày thành lồng tăng. Các lồng quay có đường kính nhỏ sẽ dịch chuyển ít hơn những lồng quay có kích thước đường kính lớn hơn. Đặc biệt ở loại lồng quay kích thước (150 x 500) mm (Hình 9) xuất hiện sự dao động bất thường, chuyển vị tăng vọt tại chiều dày 1,4 mm và 1,6 mm so với xu hướng, điều này là do liên quan đến biến dạng cục bộ.

4. KẾT LUẬN VÀ THẢO LUẬN

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện nội dung về các vấn đề lý thuyết liên quan đến tính toán thiết kế một loại lồng quay của mô hình nghiên cứu máy ly tâm cho rau đã cắt và đã được rửa sạch có năng suất 2kg/m². Việc nghiên cứu này tiến tới thực hiện công việc thiết kế chế tạo và hiện thực hóa và sau cùng là thử nghiệm mô hình máy ly tâm cho dây chuyền sơ chế rau, đáp ứng nhu cầu cho dân công sở mua “rau ăn liền” tại các siêu thị trong tương lai.

Kết quả tính toán đã xác định được thể tích lồng quay chứa rau là $9,2.10^{-3} \text{ m}^3$ cho ra kết quả 5 loại lồng quay ở các dãy kích thước theo đường kính (D) và chiều dài lồng (H) gồm (150 x 500)mm; (200 x 320)mm; (250 x 210)mm; (300 x 150)mm và (350 x 115)mm có cùng số vòng quay 600 vòng/phút và có cùng chiều dày vật liệu chế tạo lồng quay là 1,2mm.

Nghiên cứu đã chọn lồng quay loại (200 x 320) mm để thực hiện tính toán và đã xác định được các thông số liên quan đến thiết kế lồng quay gồm: Lực ly tâm tương đương là $F = 32,5\text{N}$, áp suất ly tâm $P_{\max} = 3739,76 \text{ N/m}^2$, ứng suất kéo $= 697287,55 \text{ N/m}^2$, đường kính lỗ $d = 10\text{mm}$, số lỗ 1216, khoảng cách các lỗ là 12,8mm, số tỷ lệ thoát nước $= 47,5\%$. Ở chiều dày vật liệu chế tạo lồng quay $\min = 1,2 \text{ mm}$ có thời gian thoát nước $= 0,5 \text{ phút}$.

Nghiên cứu chọn lồng quay kích thước (300 x 150) mm chiều dày thành lồng 1,2mm để thực hiện chế tạo và hiện thực

hóa mô hình máy ly tâm rau đã cắt sau rửa trong các nghiên cứu thực nghiệm tiếp theo.

4.2. Thảo luận

Hai thông số ứng suất và chuyển vị đều tỉ lệ nghịch với chiều dày vật liệu chế tạo thành lồng. Nếu chiều dày tăng sẽ tăng khả năng cứng vững cho lồng khi đó ứng suất và giá trị chuyển vị sẽ giảm. Do đó, trong thiết kế lồng quay cần quan tâm đến chiều dày vật liệu thành lồng sao cho phải đủ bền khi lồng quay hoạt động.

Đối với lồng quay có đường kính quá nhỏ (dưới 200mm) cụ thể là loại (150 x 500)mm không phù hợp để thiết kế cho mô hình nghiên cứu, do đã có sự dao động bất thường về tập trung ứng suất ở chiều dày vật liệu 1,6mm.

Các loại lồng quay có đường kính lớn hơn 200mm đều phù hợp cho chế tạo mô hình máy năng suất 2kg/mẻ cùng với chiều dày thành lồng 1,2mm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1].Trung tâm Thông tin Khoa học và Công nghệ Tp.HCM. *Hướng ứng dụng dây chuyền rửa, xử lý rau phục vụ tiêu dùng trong nước và xuất khẩu*, Sở Khoa học và Công nghệ Tp.HCM, 2018
- [2].Bùi Trung Thành, *Khảo sát tính hình sơ chế rau ăn lá khu vực Đà Lạt- Lâm Đồng*, Chuyên đề đề tài “Nghiên cứu, chế tạo hệ thống máy sơ chế, làm sạch đóng gói một số sản phẩm rau ăn lá chủ yếu của vùng rau Đà Lạt” Sở Khoa học và Công nghệ Lâm Đồng, 2022
- [3].Quách Thị Thư. *Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố công nghệ đến thời hạn bảo quản rau xà lách*, Đại học Thái Nguyên, Tạp Chí khoa học Công nghệ Đại học Thái Nguyên, 2025
- [4].D. Rickwood and J. M. Graham, Biological Centrifugation, Springer Verlag; ISBN: 0387915761, 2001;
- [5].D. Rickwood, T. Ford, J. Steensgaard John, *An Introduction to Centrifugation*, BIOS Scientific Publishers, Ltd. ISBN 1872748 406, Wiley & Son Ltd. ISBN: 0471942715. T ,1994
- [6].S. R. Karri and J. Werther. “Gas distributor and plenum design in fluidized beds,” Chemical Industries, pp. 155–170, 2003,
- [7].Bùi Trung Thành. “Thiết kế ghi phân phối môi chất khí cho máy sấy muối tinh lớp sôi liên tục,” Tạp chí Năng lượng Nhiệt, số 93, trang 11–16, 2010.
- [8].A. La Xokolov, Nguyễn Trọng Thể và Nguyễn Như Thung biên dịch. *Cơ sở thiết kế máy sản xuất thực phẩm*, Hà Nội: NXB Khoa học và Kỹ thuật, 1976.
- [9].Nguyễn Hay. *Nghiên cứu thiết kế, chế tạo máy ly tâm liên tục, máy sấy trang thiết bị cho dây chuyền sản xuất muối tinh liên tục*. Trong chương trình Khoa học cấp nhà nước KC 7/06-

- 10, pp 1-114, 2010
- [10].X. Hai-jun and S. Jian. "Failure analysis and optimization design of a centrifuge rotor," *Engineering Failure Analysis*, vol. 14, no. 1, pp. 101–109, 2007.
- [11].G. C. Grimwood and A. Ainsworth. "Batch centrifuge basket design," *International road Journal*, vol. 117, February, 2015.
- [12].Y. Chen, G. Xu, X. Yang, and Y. Lan. "Stress Analysis and Optimization of the Hanging Centrifuge Drum Perforation," *Advanced Materials Research*, vols. 971–973, pp. 731–735, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.971-973.731,2014
- [13].Z. Zhiguo and W. Yeqin, "Analysis of the impact on the dish centrifugal separator's drum stress of rotary drum parameters." *Proc. 2012 2nd Int. Conf. Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet)*, doi: 10.1109/CECNet.2012.6201769,2012.
- [14].S. Zhang, W. Wang, C. Huang, and Y. Li, "Stress analysis of the suspended centrifuge drum for sugar," *Applied Mechanics and Materials*, vol. 376, pp. 113–117, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.376.113,2013
- [15].S. Hong, H. Park, K. Cho, and S. Kang. "Development of washing and sterilization system for leafy vegetables," *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, vol. 3, no. 3, pp. 87–92, doi: 10.1016/S1881-8366(10)80013-8,2010
- [16].Y. Luo and Y. Tao. "Determining tissue damage of fresh-cut vegetables using image technology," *Acta Horticulturae*, vol. 628, doi: 10.17660/ActaHortic.2003.628.10,2003
- [17].Nguyễn Văn Lụa. *Quá trình và thiết bị công nghệ hóa học & thực phẩm, Tập 1: Các quá trình & thiết bị cơ học*, Quyển 1: Khuấy, Lắng lọc. Hà Nội: Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2012.
- [18].Nguyễn Bin và Đỗ Văn Đài, *Sổ tay quá trình và thiết bị công nghệ hóa chất: Tập 2*. Hà Nội: Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, 2006.

