

Ứng dụng lý thuyết cơ học chất lỏng để thiết kế đĩa khuôn của máy ép đùn tạo hình thức ăn thủy sản

Lê Đức Trung

Trường Đại học Hùng Vương Thành phố Hồ Chí Minh

TÓM TẮT

Đĩa khuôn máy ép là bộ phận quyết định kích thước hình dạng sản phẩm, khi muốn thay đổi cỡ sản phẩm người ta cần phải thay đổi đĩa khuôn. Các cơ sở sản xuất này cần phải đặt khuôn mới từ các công ty cung cấp máy hoặc tự chế tạo và thử nghiệm nhiều lần, tốn nhiều kinh phí, công sức và thời gian. Bài báo này đề xuất một phương pháp mới dựa trên lý thuyết cơ học chất lỏng để tính toán thiết kế đĩa khuôn của máy ép đùn khi cần phát triển sản phẩm mới. Phương pháp đã được kiểm chứng thành công tại Xưởng sản xuất thức ăn Cá Bè thuộc Viện Nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản II (RIA2) và nhà máy thức ăn chăn nuôi Nong-Teng ở Viên Chăn – Lào.

Từ khóa: thức ăn, ép đùn, đĩa khuôn, cơ học chất lỏng

1. GIỚI THIỆU

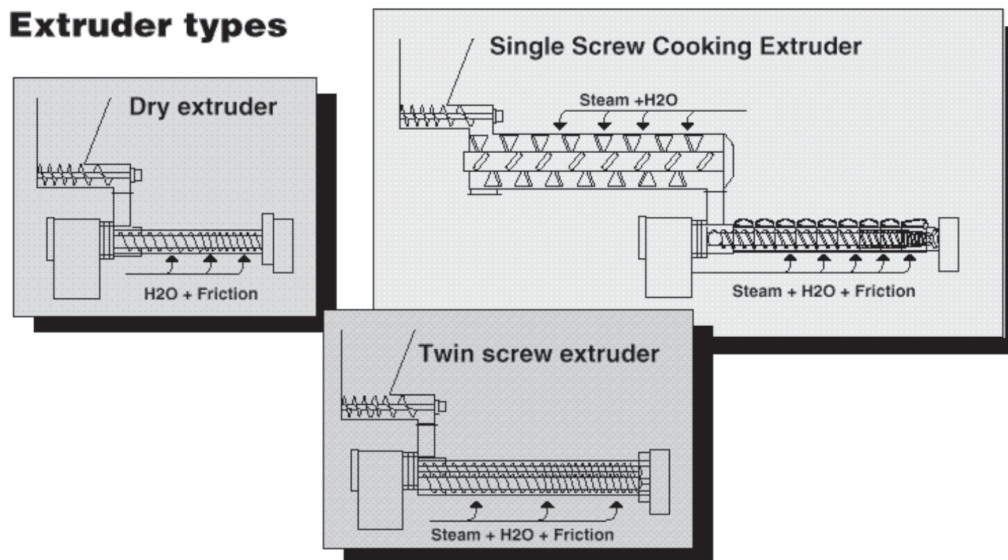
Ép đùn (extrusion) là quá trình tạo hình dạng sản phẩm từ vật liệu dẻo (dạng bột nhào) bằng cách ép vật liệu đi qua một số lỗ khuôn có hình dạng thích hợp.

Công nghệ ép đùn có lịch sử phát triển khoảng hơn 200 năm. Theo Mian N. R. [1], người đầu tiên áp dụng kỹ thuật này là Joseph Bramah (người Anh). Vào năm 1797, ông đã sử dụng cơ cấu piston để ép tạo hình ống dẫn (chì). Gần 3/4 thế kỷ sau, vào những năm 1870, ép đùn bằng trục vít lần đầu được ứng dụng trong sản xuất cao su và xúc xích. Từ những năm 1930, công nghệ ép đùn bằng trục vít đã được ứng dụng rộng rãi trong sản xuất thực phẩm. Các phát minh về cấu hình trục vít ép (screw), buồng ép (barrel), buồng hồ hóa nguyên liệu (pre-conditioner) lần lượt ra đời. Dao cắt (cutter), đĩa khuôn (die plate), điều khiển tự động cũng được cải tiến liên tục. Các máy ép đùn hiện đại được thiết kế tối ưu kết hợp tự động kiểm soát và điều chỉnh thông số vận hành, cho phép sản xuất với năng suất cao, chi

phí năng lượng thấp, giảm thiểu phụ phế liệu, dẫn đến giảm giá thành và nâng cao chất lượng sản phẩm. Nhờ đó, phương pháp ép đùn ngày nay được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực, như sản xuất đồ nhựa, công nghiệp thực phẩm và thức ăn chăn nuôi. Việt Nam hiện có khoảng trên 200 nhà máy sử dụng công nghệ ép đùn để tạo viên thức ăn nuôi cá, với tổng sản lượng trên hai triệu tấn/năm [2]. Đa số các máy ép đùn được nhập ngoại từ các nước phát triển, một số được chế tạo trong nước theo mẫu máy nước ngoài.

Trong công nghiệp tồn tại nhiều loại máy ép đùn khác nhau, được mô tả trên **Hình 1**. Máy ép đùn có bộ phận chính bao gồm: cấp liệu, hấp chín (cooking/pre-conditioner), vít ép, vít đơn (single screw) hoặc vít đôi (tween screw), khuôn (dạng đĩa có nhiều lỗ khuôn), đầu cắt viên. Máy trục vít đôi cấu tạo phức tạp, giá thành chế tạo cao nhưng có thể tạo lực ép lớn, ổn định, sản phẩm đồng đều hơn trục vít đơn.

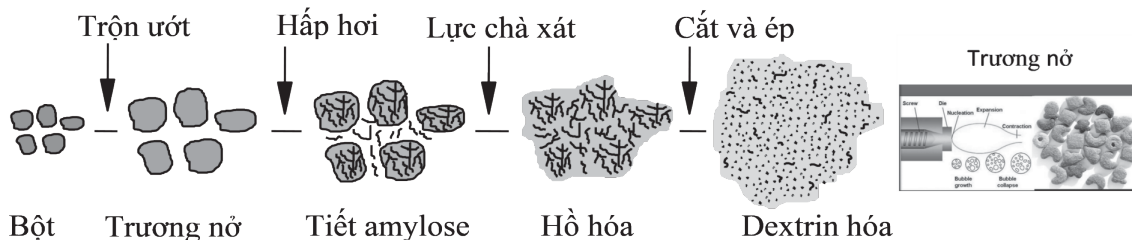
Tác giả liên hệ: TS. Lê Đức Trung
Email: leductrungsg@gmail.com



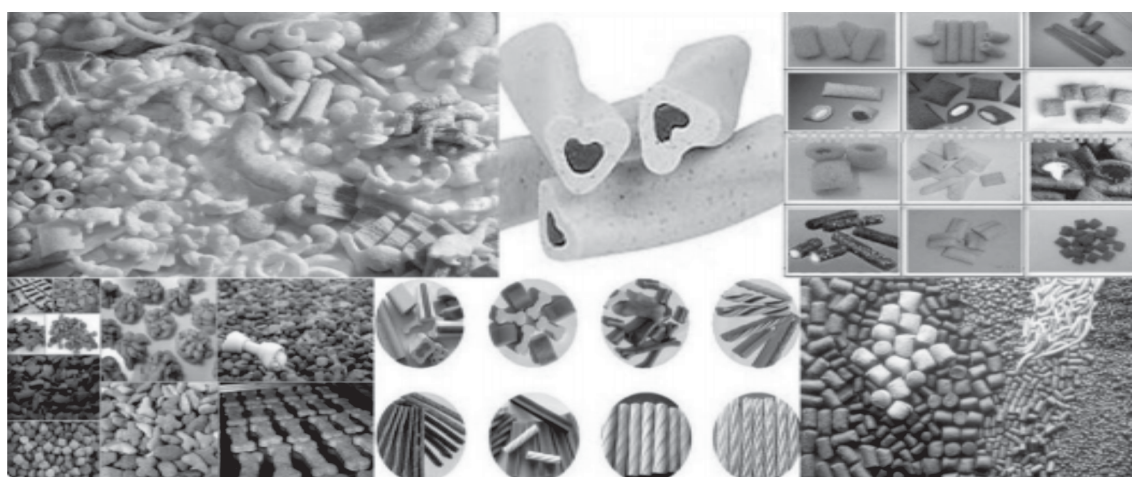
Hình 1. Sơ đồ cấu tạo một số loại máy ép đùn [1]

Công nghệ ép đùn có nhiều ưu điểm so với các công nghệ tạo hình khác. Nó có thể thực hiện nhiều chức năng khác nhau trong cùng một cỗ máy: định lượng, phối trộn, nấu chín, tạo hình, ... vì vậy hệ thống sản xuất khá gọn nhẹ. Trong máy ép đùn hiện đại, nguyên liệu được hấp chín bằng hơi nước kết hợp với năng lượng ma sát khi trục vít quay, kết quả là thực phẩm bị biến đổi cả

về tính chất vật lý, hóa học cũng như cảm quan. Hình 2 mô tả sự biến đổi tinh bột khi qua máy ép đùn. Sử dụng công nghệ ép đùn có thể tạo được nhiều hình dạng sản phẩm với các đặc tính khác nhau về cấu trúc, độ xốp, màu sắc, mùi vị. Hình 3 thể hiện khả năng tạo hình đa dạng trong sản xuất bánh kẹo, mì ống, snack, thức ăn chăn nuôi, ... bằng công nghệ ép đùn.



Hình 2. Quá trình biến đổi tinh bột khi chế biến bằng công nghệ ép đùn [3]

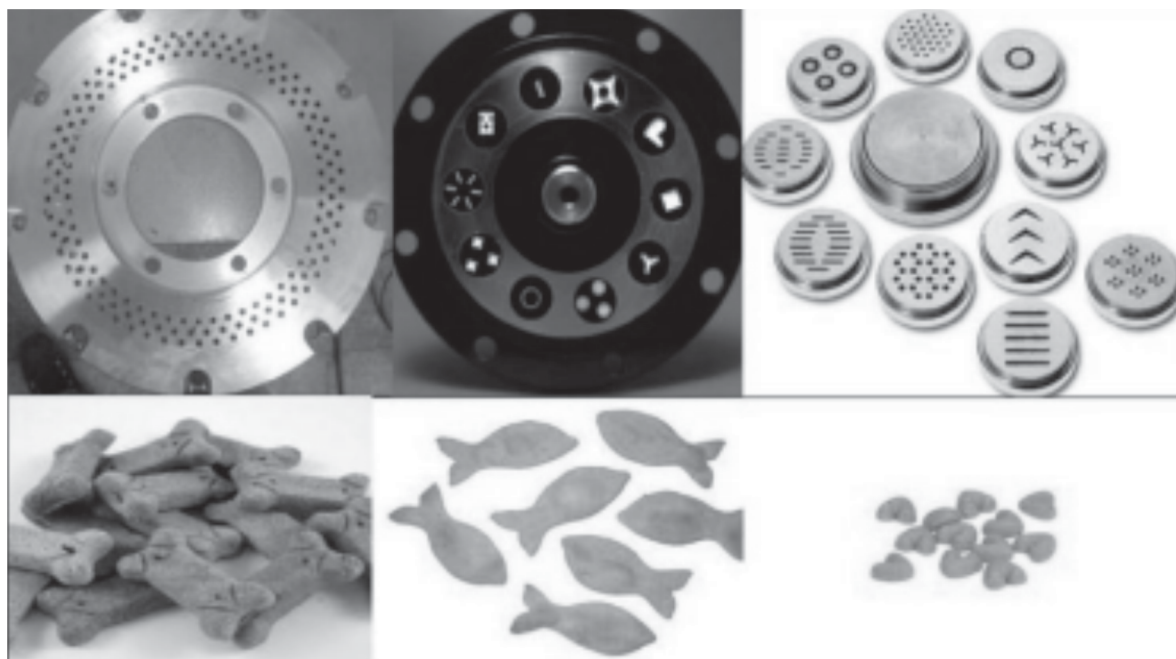


Hình 3. Sản phẩm đa dạng từ công nghệ ép đùn [4]

Bộ phận quyết định hình dạng, kích thước của sản phẩm là đĩa khuôn. Cấu tạo đĩa khuôn của một số sản phẩm thức ăn được mô tả trên **Hình 4**. Khi thay đổi cấu hình lỗ khuôn, hình dạng sản phẩm cũng thay đổi theo. Ngoài vai trò quyết định trong tạo hình, đĩa khuôn còn có ảnh hưởng quan trọng tới cấu trúc của sản phẩm (độ xốp) và độ ổn định máy ép khi vận hành. Vì vậy, mỗi loại

sản phẩm cần có nghiên cứu thiết kế một loại đĩa khuôn thích hợp.

Kích thước và hình dạng sản phẩm phụ thuộc kích thước và hình dạng lỗ khuôn. Tùy loại nguyên liệu và độ trương nở của bột nhào (phụ thuộc nhiệt độ và áp suất buồng ép) mà kích thước lỗ khuôn thường nhỏ hơn kích thước sản phẩm (khoảng 5% tới 30%).



Hình 4. Một số kiểu đĩa khuôn và hình dạng sản phẩm từ máy ép đùn [4]

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Xưởng sản xuất thức ăn nuôi thủy sản thuộc Trung tâm Công nghệ thức ăn và Sau thu hoạch (trực thuộc Viện nghiên cứu Nuôi trồng Thủy sản II) tại huyện Cái Bè – tỉnh Tiền Giang được trang bị một dây chuyền sử dụng công nghệ ép đùn để sản xuất thức ăn nuôi cá. Trong dây chuyền này, máy ép đùn (**Hình 5**) được nhập từ Hungary, vốn là loại máy trục vít đơn được thiết kế để sản xuất một số loại thức ăn viên hình trụ với cỡ viên từ $\varphi = 4$ mm tới $\varphi = 10$ mm, chủ yếu cho vật nuôi như chó, mèo và các loại cá lớn. Tuy nhiên, nhu cầu thực tế tại cơ sở Cái Bè lại cần sản xuất loại thức ăn có cỡ viên bé hơn (từ 1.5 – 3.0 mm) phục vụ cho các trại cá giống.

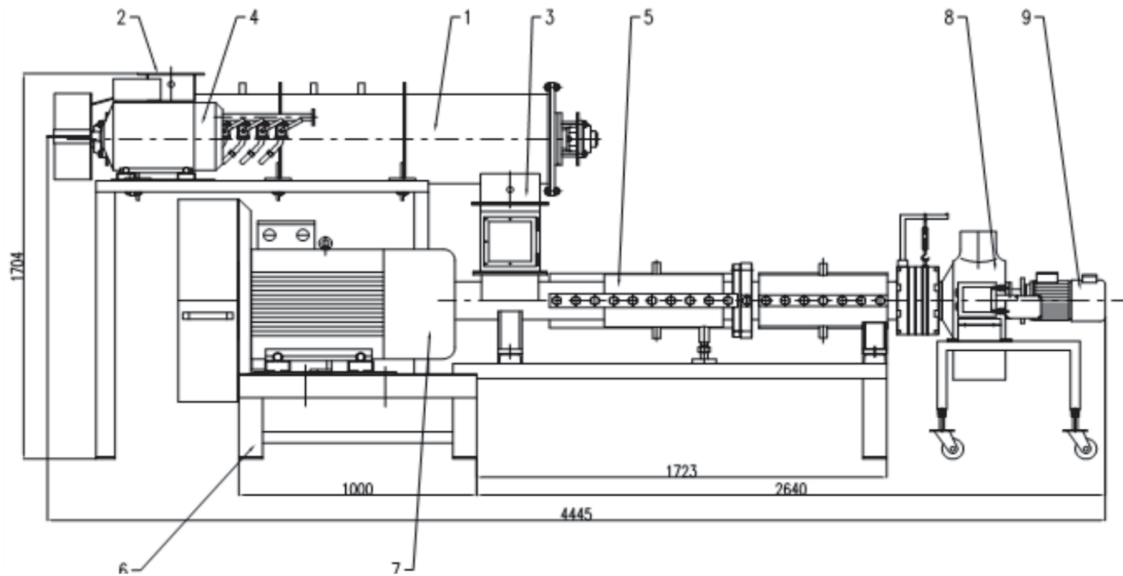
Nhiệm vụ đặt ra là cần nghiên cứu cải tạo máy ép đùn hiện có để có thể sản xuất được viên thức ăn cỡ nhỏ. Trong đó, việc tính toán thiết kế và chế tạo đĩa khuôn mới sao cho phù hợp với

cỡ viên thức ăn nhỏ là một trong những nội dung chính.

Như vậy, mục đích của nghiên cứu là xác định cấu hình, kích thước và số lỗ khuôn phù hợp cho sản xuất các loại viên thức ăn mới.

Để thực hiện được mục tiêu này, nghiên cứu đã:

- Sử dụng phương pháp đồng dạng để thiết kế khuôn ép với lỗ khuôn mới, trên cơ sở kế thừa các thông số của khuôn ép cũ sẵn có (**Hình 6**).
- Áp dụng lý thuyết cơ học chất lỏng về tính toán trở lực dòng chảy chất lỏng qua lỗ [5 - 6], từ đó xác định chiều dài lỗ và số lỗ thích hợp trên đĩa khuôn.
- Hoàn thiện thiết kế và chế tạo khuôn máy ép đùn để sản xuất thức ăn viên cỡ nhỏ.
- Thử nghiệm khuôn mới để sản xuất thức ăn trên máy ép đùn hiện có.

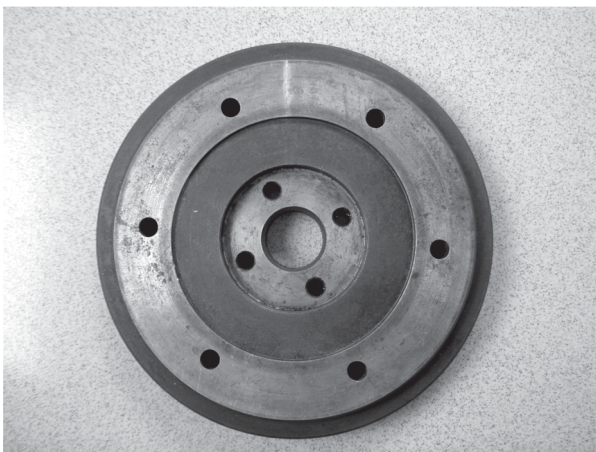


Hình 5. Sơ đồ cấu tạo máy ép đùn (extruder) tại xưởng thức ăn Cái Bè

Chú thích: 1 - Buồng hấp; 2&3 - Cửa cấp liệu và tháo liệu của buồng hấp; 4 - Động cơ buồng hấp; 5 - Vít ép đùn; 6 - Giá đỡ; 7 - Động cơ chính; 8 - Đầu dao cắt; 9 - Động cơ quay dao cắt.

Máy ép đùn tạo viên thức ăn nổi với năng suất từ 400 – 500 kg/h trong khoảng đường kính viên từ 4 mm tới 10 mm. Các thành phần nguyên liệu sau khi nghiền mịn được cấp đều đặn vào buồng hấp nhờ vít nạp liệu (không thể hiện trên hình vẽ). Tại đây, hơi nước được phun vào trộn với bột để thực hiện quá trình hồ hóa

(được mô tả trên **Hình 2**). Sau khi hồ hóa, bột nóng ẩm được chuyển xuống vít ép. Tại đây khối bột được nhào trộn, tiếp tục đun nóng nhờ ma sát, cánh vít tạo áp lực đẩy khối bột về phía đĩa khuôn. Để hình dạng và kích thước sản phẩm đều, áp suất bên trong buồng ép cần được duy trì ổn định.



a)



b)

Hình 6. Đĩa khuôn cũ tại xưởng Cái Bè: a) lỗ khuôn $\phi 8$ mm; b) lỗ $\phi 5$ mm

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ứng dụng lý thuyết cơ học chất lỏng để xác định kích thước lỗ khuôn mới

Khi được đun chín và nhào trộn mạnh trong buồng ép, vật liệu dạng bột nhão có trạng thái

gần giống chất lỏng nhớt (fluidized). Dưới tác động của áp suất ép, chuyển động của vật liệu qua lỗ khuôn tuân theo quy luật của cơ học chất lỏng. Vì vậy, lưu lượng vật liệu bột nhào qua lỗ khuôn (Q) có thể được tính theo công thức [5, 7]:

$$Q = K \cdot n \cdot \Delta p / \mu$$

Trong đó: K = Hệ số dẫn của lỗ khuôn,

$$K = \pi d^4 / (128L) \tag{1}$$

n = số lỗ trên khuôn;

Δp = chênh lệch áp suất trước và sau lỗ khuôn, (N/mm²);

μ = độ nhớt biểu kiến của lưu chất, (Ns/mm²);

L = chiều dài lỗ khuôn, (mm).

Theo lý thuyết đồng dạng [8], trên cùng máy ép, cùng loại vật liệu thì giá trị của Δp và μ không thay đổi với các lỗ khuôn có kích thước khác nhau. Như vậy, với hai đĩa khuôn có kích thước lỗ d_1 và d_2 khác nhau, ta có quan hệ tỷ lệ:

$$Q_2 / Q_1 = n_2 K_2 / (n_1 K_1)$$

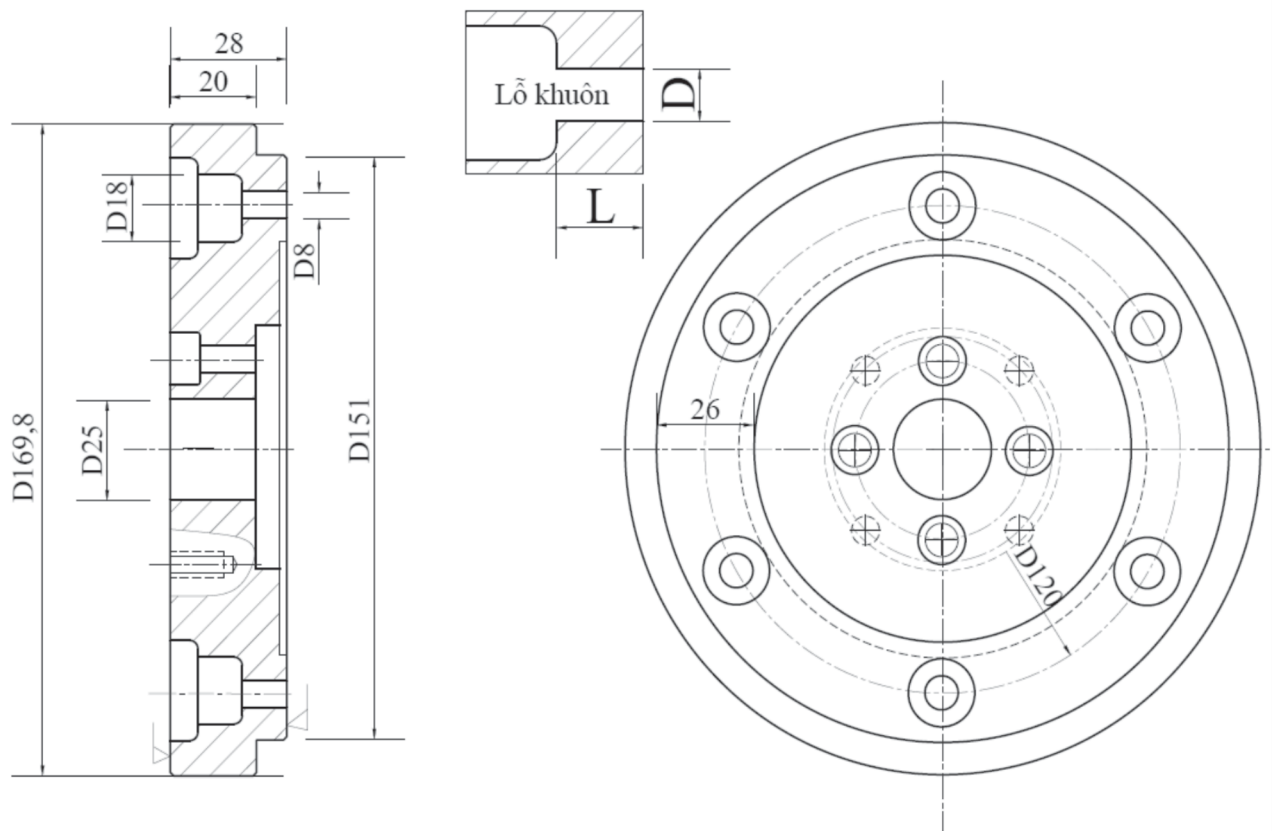
$$\text{Hay: } n_2 = n_1 K_1 Q_2 / (K_2 Q_1) \tag{2}$$

Đặc biệt, khi năng suất máy không đổi ($Q_1 = Q_2$) ta có: $n_2 / n_1 = K_1 / K_2$

Nói cách khác, với cùng năng suất máy ép, khi thiết kế khuôn mới cần có số lỗ tỷ lệ nghịch với hệ số dẫn của lỗ khuôn.

Từ các quan hệ (1) và (2), với chiều dài của lỗ khuôn L_2 thích hợp ta có thể tính được số lỗ khuôn n_2 của khuôn mới (có đường kính lỗ d_2) từ các thông số của đĩa khuôn cũ (**Hình 7**).

Khi kích thước lỗ khuôn (d) càng giảm, để duy trì áp suất ép không đổi thì số lỗ (n) trên khuôn càng phải tăng lên. Tuy nhiên, do diện tích bề mặt khuôn hạn chế nên không thể bố trí quá nhiều lỗ trên khuôn. Trong trường hợp đó cần phải giảm chiều dài lỗ (L) và giảm năng suất máy (Q).



Hình 7. Cấu tạo và kích thước chi tiết của đĩa khuôn cũ (lỗ khuôn $\phi 8$)

3.2. Kết quả tính toán và thiết kế đĩa khuôn mới

Khảo sát đĩa khuôn cũ, ta xác định được kích thước lỗ khuôn và các thông số dẫn xuất liên quan được ghi lại trong **Bảng 1**.

Lấy đĩa khuôn cũ (1a) làm chuẩn đồng dạng, thiết kế khuôn mới có đường kính lỗ $d = 2$ mm

với ba mức năng suất khác nhau ($Q_2 = Q_1$; $Q_2 = 0.7Q_1$; $Q_2 = 0.5Q_1$). Để xác định được số lỗ khuôn thích hợp cho mỗi giá trị năng suất, ta chọn 5 cỡ chiều dài lỗ L_2 từ 1 mm tới 5 mm. **Bảng 2** ghi lại kết quả tính K_2 (theo công thức 1) và n_2 (công thức 2).

Bảng 1. Các thông số của đĩa các đĩa khuôn cũ (1a và 1b)

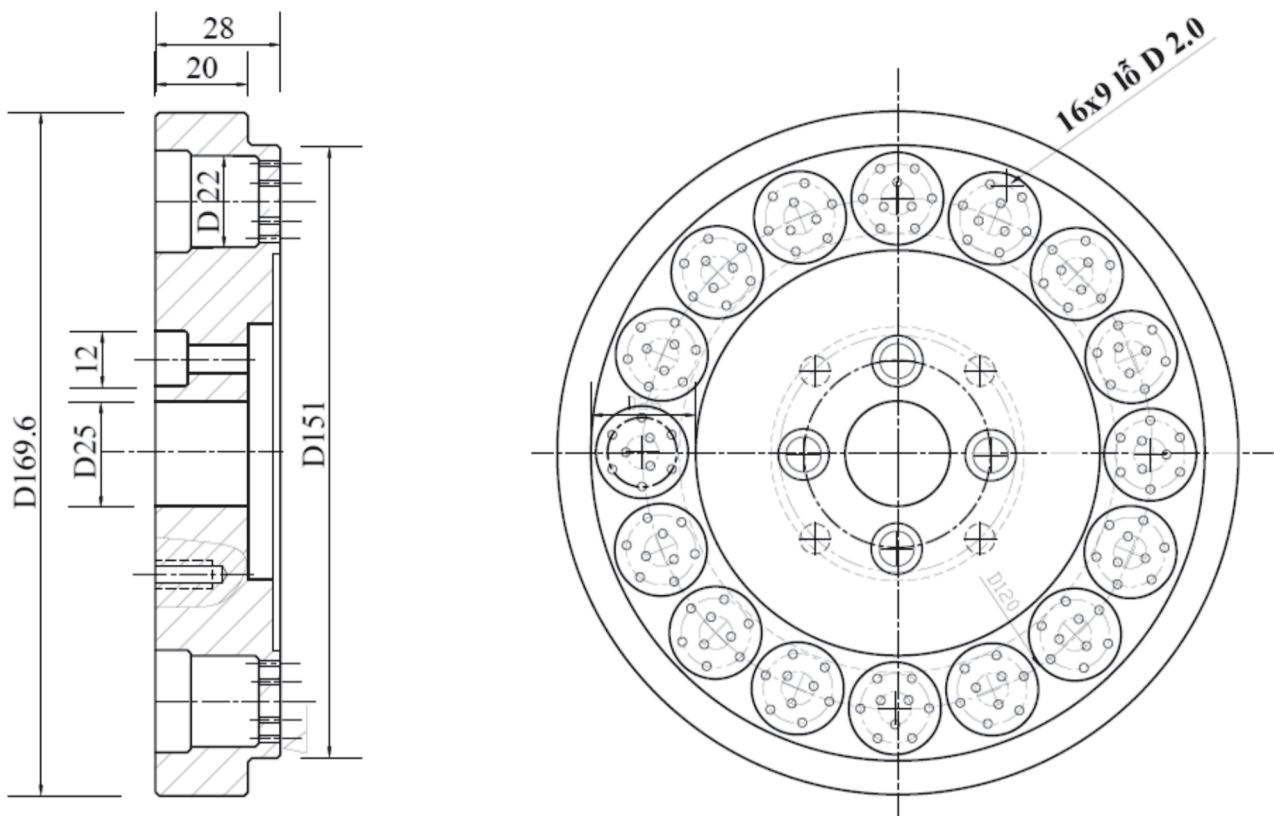
STT	Đường kính lỗ d_1 (mm)	Chiều dài lỗ L_1 (mm)	Số lỗ (n_1)	Hệ số dẫn (K_1)	Năng suất (Q_1)
Đĩa 1a	8	10	6	10.048	500
Đĩa 1b	5	4	10	3.833	320

Bảng 2. Kết quả tính hệ số dẫn (K_2) và số lỗ (n_2) khuôn mới với năng suất Q_2 khác nhau

Năng suất	L_2 (mm)	1	2	3	4	5
	K_2		0.3925	0.1962	0.1308	0.0981
$Q_2 = Q_1$	n_{2a}	154	307	461	614	768
$Q_2 = 0.7Q_1$	n_{2b}	108	215	323	430	538
$Q_2 = 0.5Q_1$	n_{2c}	77	154	230	307	384

Kết quả tính toán cho thấy, với kích thước lỗ ϕ_2 , tùy năng suất yêu cầu và chiều dài lỗ mà số lượng lỗ trên khuôn tính được từ 77 lỗ tới 768 lỗ, số lượng này gấp nhiều lần so với 6 lỗ trên khuôn mẫu. Do diện tích đĩa khuôn hạn chế (đường kính ngoài của đĩa khuôn là $D = 150$

mm) chỉ có thể bố trí số lỗ trên đĩa tối đa là 200 lỗ. Mặt khác, nếu chọn chiều dài lỗ $L_2 = 1$ mm thì thành lỗ quá mỏng ảnh hưởng tới độ bền của khuôn. Vì vậy, lựa chọn hợp lý là chiều dài lỗ 2 mm, số lỗ 154 cho năng suất máy $Q_2 = 0.5Q_1 = 250$ kg/h.

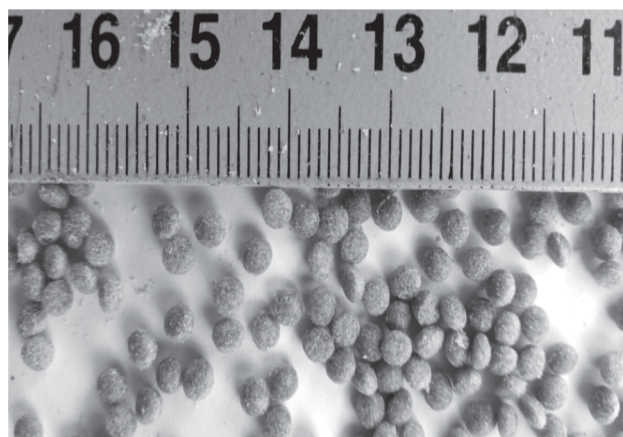


Hình 8. Cấu tạo và kích thước chi tiết của đĩa khuôn mới (lỗ khuôn ϕ_2)

Từ kết quả tính toán ở trên, đĩa khuôn mới với đường kính lỗ ϕ_2 đã được thiết kế chi tiết thể hiện trên **Hình 8**. Khuôn có 144 lỗ, chiều dài lỗ 2 mm, cho năng suất thực tế trong

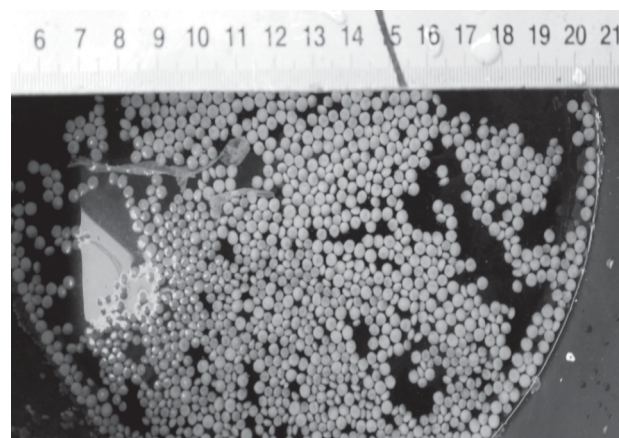
khoảng 230 – 260 kg/h. Tương tự, có thể thiết kế đĩa khuôn cho sản phẩm kích thước khác. Các đĩa khuôn theo bản thiết kế đã được chế tạo và sử dụng để sản xuất thức ăn

nuôi cá giống ở Trung tâm Giống cá nước ngọt Nam Bộ và nhà máy thức ăn chăn nuôi Nong-Teng ở Viên Chăn – Lào [9]. **Hình 9** và



Hình 9. Đo cỡ viên thức ăn

10 thể hiện kích thước và độ nổi của viên thức ăn nuôi cá sau khi qua lỗ khuôn $\phi 2$ của máy ép đùn.



Hình 10. Thử độ nổi của viên thức ăn

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở lý thuyết cơ học lưu chất kết hợp với nghiên cứu trực tiếp trên dây chuyền sản xuất tại xưởng thức ăn Cái Bè - Tiền Giang, việc tính toán thiết kế đĩa khuôn đã được đề xuất và ứng dụng có hiệu quả vào thực tế sản xuất, tạo ra các loại viên thức ăn phù hợp cho nuôi cá ở các kích cỡ khác nhau. Giải pháp cũng đã được sử dụng tại nhà máy thức ăn chăn nuôi Nong-Teng ở Viên Chăn – Lào (nơi có máy ép đùn được cung cấp bởi cùng một nhà chế tạo) và có kết quả tương tự. Như vậy, các nhà máy sản xuất thức ăn và các cơ sở cơ khí địa phương có thể sử dụng phương pháp này để tự thiết kế chế tạo các đĩa khuôn cho sản phẩm mới mà không phải nhập ngoại hoặc tốn nhiều công sức, kinh phí chế tạo thử nghiệm nhiều lần. Kết quả của nghiên cứu cũng có thể tham khảo áp dụng vào việc thiết kế các đĩa khuôn máy ép đùn sản xuất các loại sản phẩm trong các lĩnh vực khác như công nghiệp thực phẩm (bánh kẹo) và chế tạo vật liệu dẻo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Mian N. Riaz, *Extruders in food applications*, Texas A & M University, USA, 2000.
 [2] Đoàn Xuân Trúc, “Tổng quan về sản xuất

thức ăn chăn nuôi toàn cầu năm 2019”, *Tạp chí Chăn nuôi Việt Nam*, No.1, 2020.

[3] Mian N. Riaz, “Introduction to Extrusion”, *2nd ASIAM SE ASIA Conference Proceeding*, Texas A & M University, USA, 2012.

[4] Kearns Joe, “Single and Twin Extruders and Application in Aqua-feed”, *2nd ASIAM SE ASIA Conference Proceeding*, Wenger Mfg. Inc., USA, 2012.

[5] Phùng Văn Khương & Phạm Văn Vĩnh, *Thủy lực và Máy thủy lực*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2009.

[6] Trần Văn Đắc, *Thủy lực đại cương*, Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2003.

[7] B. Glencross, “Lecture of 2nd Aqua-feed Extrusion Masters class”, *Sustainable Aqua-feed Project in Vietnam*; Australia Center for Aquaculture Research (ACIAR), 2011.

[8] Nguyễn Bin, *Các quá trình và thiết bị trong công nghiệp hóa chất và thực phẩm - Tập 1*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2008.

[9] Lê Đức Trung, *Consultation report for improving aqua-feed production of Nong-Teng Feed mill*, Vitafood Agro Azsia Co. Ltd - Vientiane, Laos PDR, 2017.

Application of fluid mechanics principles for die plates designing of aqua-feed extruders

Le Duc Trung

ABSTRACT

An important part of the machines for forming products is die plates each of them is only suitable for one specific product. Whenever a new product to be developed, the feed mill have to order a new die plate from the original supplier that may takes long time and high cost. This article informs a new method to calculate and design die plates of extruders for new products development. Basing on fluid mechanics the method has been successfully applied in a number of aqua-feed factories, including Cai Be feed mill of the Research Institute for Aquaculture No.2 (RIA2) and Nong-Teng feed mill in Vientiane – the capital of Lao PDR.

Key words: *feed, extrusion, die plate, fluid mechanics*

Received: 18/09/2020

Revised: 10/12/2020

Accepted for publication: 15/12/2020