

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA**

VÕ TUYỀN

**NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG DÒNG PHUN RỐI XOÁY
TRONG HỆ THỐNG THIẾT BỊ TƯỚI PHUN**

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH NĂM 2013

Công trình được hoàn thành tại: Bộ môn chế tạo máy,
Khoa Cơ khí,
Đại học Bách khoa,
Đại học Quốc gia Tp.HCM

Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS. Nguyễn Thanh Nam
Đại học Quốc gia Tp.HCM
PGS. TS. Trần Thị Hồng
Đại học Quốc gia Tp.HCM

Phản biện 1: PGS. TS. Mai Đức Thành

Phản biện 2: PGS. TS. Trần Thiên Phúc

Phản biện 3: TS. Dương Thái Công

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Trường
Hợp tại: Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM

Vào lúc: giờ, ngày tháng năm 2013

Có thể tìm luận án tại:

Thư viện Trường Đại học Bách khoa, Đại học Quốc gia Tp.HCM

MỞ ĐẦU

Kỹ thuật tưới phun là một trong những phương pháp tưới sử dụng nước hợp lý, tiết kiệm nước và năng lượng, giúp nâng cao hiệu quả kinh tế, tăng năng suất lao động và tăng năng suất cây trồng. Nghiên cứu ứng dụng dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun là một vấn đề mang tính thời sự và có ý nghĩa thực tiễn. Tuy nhiên, việc nghiên cứu một cách có hệ thống dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun là một vấn đề còn đang bỏ ngỏ. Do đó, mô hình hóa dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun và đánh giá ảnh hưởng của các dao động rối xoáy tới các đặc trưng chính của dòng chảy là một nhu cầu thực tế và cần thiết, đặc biệt trong điều kiện hiện nay khi mà vấn đề tiết kiệm nước và năng lượng đang là vấn đề thời sự.

- **Mục đích nghiên cứu**

Nghiên cứu, ứng dụng dòng phun rối xoáy trong hệ thống thiết bị tưới phun.

- **Đối tượng nghiên cứu**

- Dòng phun rối xoáy trong hệ thống thiết bị tưới phun.
- Tác động của hiệu ứng xoáy tới dòng phun.

- **Phạm vi nghiên cứu**

- Dòng phun rối xoáy chuyển động dừng, được phun ra từ đầu phun tạo xoáy vào môi trường không khí.
- Nghiên cứu xây dựng mô hình lý thuyết, mô hình thực nghiệm và ứng dụng.
- So sánh đánh giá kết quả nghiên cứu lý thuyết với nghiên cứu thực nghiệm của các tác giả khác và các kết quả nghiên cứu thực nghiệm của bản thân;
- Ứng dụng các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm

vào tính toán, thiết kế hệ thống tưới phun cho một mô hình cụ thể, đánh giá hiệu quả của mô hình.

- **Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài**

- Dòng phun rối xoáy là bài toán đặc biệt của dòng chảy rối, dòng phun có các đặc trưng thủy lực khá đặc biệt và có ý nghĩa khoa học. Về mặt lý thuyết, nghiên cứu dòng phun rối xoáy sẽ giúp phát triển mô hình dòng phun rối xoáy trong hệ thống thiết bị tưới phun về phương diện trao đổi chất thông qua phương trình nồng độ, qua đó khép kín mô hình toán của dòng phun.

- Việc xác định hiệu ứng xoáy phù hợp trong hệ thống tưới phun sẽ giúp làm tăng bán kính phun và độ đồng đều khi tưới phun, đồng thời đảm bảo tối ưu về chi phí năng lượng; tạo điều kiện thuận lợi cho việc chế tạo các đầu phun ứng dụng trong các hệ thống tưới phun. Qua đó cho thấy, dòng phun rối xoáy có khả năng ứng dụng thực tiễn để nâng cao hiệu quả của các hệ thống tưới phun.

- Việc ứng dụng dòng phun rối xoáy trong hệ thống tưới phun sẽ giúp nâng cao hiệu quả tiết kiệm nước và năng lượng, duy trì độ ẩm cho cây trồng...

1 TỔNG QUAN, MỤC TIÊU VÀ NHIỆM VỤ NGHIÊN CỨU

1.1 Kỹ thuật tưới phun và dòng phun rối xoáy

1.1.1 Kỹ thuật tưới phun

Tưới phun là phương pháp tưới cung cấp nước cho cây trồng dưới dạng các hạt mưa hoặc hạt sương rơi trên một diện tích nhỏ xung quanh gốc cây trồng bằng thiết bị gọi là máy phun mưa. Nguyên tắc chính của phương pháp này là đưa lượng nước rất hạn chế tập trung vào vùng rễ cây thông qua hệ thống máy bơm, ống dẫn nước và đầu phun để tạo thành mưa cục bộ tưới cho các loại cây trồng [1].

1.1.2 Chuyển động rối

Chuyển động của lưu chất luôn tồn tại một trong hai trạng thái là chuyển động tầng và chuyển động rối. Ở trạng thái chuyển động tầng, dòng chảy được hình thành bởi các lớp lưu chất song song với nhau, trượt trên nhau theo một quy luật nhất định. Còn ở trạng thái chuyển động rối, các phần tử lưu chất chuyển động hỗn loạn và không thể đoán trước được đường đi của chúng. Đồng thời với chuyển động chính dọc theo phương của dòng chảy, các phần tử lưu chất còn thực hiện những dao động theo phương ngang.

1.1.3 Dòng phun rối xoáy

Dòng phun rối xoáy được tạo ra do ứng dụng chuyển động xoắn, ngoài các hiện tượng phức tạp xuất hiện trong dòng rối, còn thêm vào quá trình xoáy làm phân tán, lắng đọng và cuốn theo của các hạt (giọt lỏng, bột khí). Trong kỹ thuật, dòng phun rối xoáy được hình thành bằng ba phương pháp cơ bản:

- Nhờ rãnh dẫn hướng (rãnh tạo xoáy hay cánh tạo xoáy) trong đầu phun.
- Tạo ống dẫn trực tiếp đi vào đầu phun theo phương chiều trục và phương tiếp tuyến.
- Đầu phun quay trực tiếp để tạo xoáy.

1.2 Tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước

1.2.1 Kỹ thuật tưới phun

Trong vài chục năm qua các kỹ thuật công nghệ tưới tiết kiệm nước, trong đó có công nghệ tưới phun đã không ngừng được phát triển, hoàn thiện và áp dụng rộng rãi ở nhiều nơi, cho nhiều loại cây trồng, trong các điều kiện khác nhau. Hiện nay, hầu như các quốc gia trên thế giới ít nhiều đều đã áp dụng công nghệ tưới tiết kiệm nước, đặc biệt là kỹ thuật tưới phun [2].

Đối với Việt Nam, công nghệ tưới phun còn rất mới mẻ. Từ năm

1993, công nghệ tưới phun mới được bắt đầu nghiên cứu và chủ yếu là thực nghiệm tại các cơ sở sản xuất.

Việc ứng dụng hiệu ứng xoáy trong kỹ thuật tưới phun nhằm mục đích: cho tầm phun mưa rộng, tăng hiệu quả sử dụng nước; phân bố lượng mưa đồng đều, giúp cây trồng và đất đai có thể hấp thụ một cách triệt để, đặc biệt đối với những cây trồng cao cấp trong nhà kính hay vườn ươm; ngoài khả năng tưới còn làm mát cho cây trồng, cải tạo vi khí hậu.

1.2.2 Mô hình rối

Các công trình nghiên cứu từ trước tới nay về mô hình rối cho thấy, có nhiều mô hình rối đã được xây dựng và ứng dụng trong các nghiên cứu, mỗi mô hình đều có những ưu điểm và mặt hạn chế riêng nhằm phục vụ cho một loại dòng chảy rối nhất định. Vì vậy, việc ứng dụng các mô hình rối này để xây dựng hoàn thiện mô hình toán cho dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun là hướng nghiên cứu mới của đề tài.

1.2.3 Dòng phun xoáy

Để biểu diễn mức độ xoáy và ảnh hưởng của sự xoáy, trong kỹ thuật sử dụng đại lượng cơ bản là hệ số cường độ xoáy S , đó là một đại lượng không thứ nguyên đặc trưng cho dòng chảy. Qua các nghiên cứu thực nghiệm đã xác định được, mức độ xoáy phụ thuộc vào tỷ số giữa vận tốc theo phương tiếp tuyến và vận tốc theo phương dọc trục $S \sim \frac{w}{u}$. Còn trong các thiết bị tạo xoáy, mối quan hệ giữa hệ số cường độ xoáy và góc nghiêng của rãnh tạo xoáy được thể hiện qua công thức: $S \approx \frac{2}{3} \tan \phi$ [8].

Nhìn chung, hầu hết các nghiên cứu về dòng phun xoáy tập trung vào những ứng dụng trong các buồng đốt công nghiệp nhằm

làm tăng quá trình hòa trộn giữa nhiên liệu và không khí, tạo ra sự ổn định cho quá trình cháy và làm sạch buồng đốt. Việc nghiên cứu ứng dụng dòng phun xoáy trong hệ thống thiết bị tưới phun là một đề tài mới cần được quan tâm, xem xét.

1.3 Nhiệm vụ nghiên cứu

1.3.1 Những vấn đề cần giải quyết

- Bổ sung phương trình nồng độ phù hợp với mô hình rối để khép kín hệ phương trình toán.
- Lựa chọn phương pháp giải hệ phương trình toán và phương pháp mô phỏng số có độ chính xác thích hợp và thực hiện đơn giản.
- Nghiên cứu thực nghiệm và ứng dụng các kết quả lý thuyết để thiết kế hệ thống tưới phun mưa và chế tạo đầu phun tạo xoáy.

1.3.2 Nội dung nghiên cứu

- Bổ sung phương trình nồng độ cho mô hình, qua đó khép kín mô hình toán biểu diễn dòng phun.
- Mô phỏng số một số thông số vật lý, thông số kích thước hình học của dòng phun với các hệ số xoáy khác nhau phục vụ cho việc tính toán thiết kế hệ thống tưới phun.
- Nghiên cứu thực nghiệm, kiểm chứng các thông số vật lý, thông số kích thước hình học của mô hình số và xác định hệ số xoáy phù hợp nhất trong hệ thống thiết bị tưới phun.
- Tính toán, thiết kế hệ thống tưới phun mưa sử dụng đầu phun tạo xoáy, bao gồm việc chế tạo đầu phun có rãnh tạo xoáy và ứng dụng tại một số đơn vị nhằm đánh giá hiệu quả hệ thống tưới phun.

1.4 Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp nghiên cứu được sử dụng trong luận án bao gồm: phương pháp nghiên cứu lý thuyết, phương pháp mô phỏng số, phương pháp chế tạo và phương pháp nghiên cứu thực nghiệm.

2 NGHIÊN CỨU MÔ PHỎNG SỐ DÒNG PHUN RỐI XOÁY TRONG KỸ THUẬT TƯỚI PHUN

2.1 Hệ phương trình biểu diễn dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun

2.1.1 Đặt vấn đề

Hệ phương trình toán bao gồm các phương trình: liên tục, bảo toàn động lượng, trao đổi chất và phương trình của mô hình rối.

2.1.2 Khai triển các phương trình của mô hình toán

$$\left(\frac{\partial \rho u}{\partial x}\right) + \left(\frac{\partial \rho v}{\partial r}\right) = 0 \quad (2.1)$$

$$u\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right) + v\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left[v_t\left(\frac{\partial u}{\partial x}\right)\right] + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[rv_t\left(\frac{\partial u}{\partial r}\right)\right] - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} - g \quad (2.2)$$

$$u\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right) + v\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left[v_t\left(\frac{\partial v}{\partial x}\right)\right] + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[rv_t\left(\frac{\partial v}{\partial r}\right)\right] - \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial r} - v_t\frac{v}{r^2} + \frac{w^2}{r} \quad (2.3)$$

$$u\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right) + v\left(\frac{\partial w}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left[v_t\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)\right] + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[rv_t\left(\frac{\partial w}{\partial r}\right)\right] - v_t\frac{w}{r^2} - \frac{vw}{r} \quad (2.4)$$

$$u\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right) + v\left(\frac{\partial C}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{v_t}{Sc}\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)\right] + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\frac{v_t}{Sc}\left(\frac{\partial C}{\partial r}\right)\right] + u_s\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right) \quad (2.5)$$

$$u\left(\frac{\partial k}{\partial x}\right) + v\left(\frac{\partial k}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{v_t}{\sigma_k}\left(\frac{\partial k}{\partial x}\right)\right] + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\frac{v_t}{\sigma_k}\left(\frac{\partial k}{\partial r}\right)\right] + P_k - \varepsilon \quad (2.6)$$

$$u\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right) + v\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial r}\right) = \frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon}\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial x}\right)\right] + \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left[r\frac{v_t}{\sigma_\varepsilon}\left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial r}\right)\right] + C_{\varepsilon 1}\frac{\varepsilon}{k}P_k - C_{\varepsilon 2}\frac{\varepsilon^2}{k} \quad (2.7)$$

Như vậy, hệ phương trình toán biểu diễn dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun gồm 7 phương trình vi phân (2.1) ÷ (2.7) với 7 ẩn số cần xác định là u , v , w , p , C , k và ε .

2.2 Phương pháp giải hệ phương trình dòng phun rối xoáy

2.2.1 Lựa chọn phương pháp giải

Đối với các bài toán trong cơ học lưu chất thì phương pháp khối hữu hạn tỏ ra thích hợp hơn cả. Vì vậy, luận án sẽ sử dụng phương pháp khối hữu hạn để giải hệ phương trình toán.

2.2.2 Biến đổi hệ phương trình toán về dạng tổng quát

Để có thể giải hệ phương trình toán bằng phương pháp khối hữu hạn, các phương trình (2.1) ÷ (2.7) sẽ được biến đổi về dạng tổng quát dưới dạng phương trình hàm dòng [34].

Sau khi biến đổi và sắp xếp lại ta có:

$$-\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(r\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)\right]-\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)\right]+\frac{\partial\psi}{\partial r}-\rho r^2\omega=0 \quad (2.8)$$

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(\omega\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)\right]-\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(\omega\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x}\left[rv_t\left(\frac{\partial\omega}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial r}\left[rv_t\left(\frac{\partial\omega}{\partial r}\right)\right]- \\ &-\frac{\partial\omega^2}{\partial x}-v_t\frac{\partial\omega}{\partial r}+v_t\frac{\omega}{r}=0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(w\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)\right]-\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(w\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x}\left[rv_t\left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial r}\left[rv_t\left(\frac{\partial w}{\partial r}\right)\right]- \\ &-\frac{w}{r}\left(\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)+\frac{v_t w}{r}=0 \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(C\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)\right]-\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(C\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{rv_t}{Sc}\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{rv_t}{Sc}\left(\frac{\partial C}{\partial r}\right)\right]- \\ &-ru_s\left(\frac{\partial C}{\partial x}\right)=0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

$$\begin{aligned} &\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial x}\left(k\frac{\partial\psi}{\partial r}\right)\right]-\frac{1}{\rho}\left[\frac{\partial}{\partial r}\left(k\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial x}\left[\frac{rv_t}{\sigma_k}\left(\frac{\partial k}{\partial x}\right)\right]-\frac{\partial}{\partial r}\left[\frac{rv_t}{\sigma_k}\left(\frac{\partial k}{\partial r}\right)\right]- \\ &-rP_k+r\varepsilon=0 \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\varepsilon \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) \right] - \frac{1}{\rho} \left[\frac{\partial}{\partial r} \left(\varepsilon \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{rv_t}{\sigma_\varepsilon} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right) \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{rv_t}{\sigma_\varepsilon} \left(\frac{\partial \varepsilon}{\partial r} \right) \right] - \\ & - rC_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + rC_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} = 0 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Như vậy, hệ phương trình toán lúc này còn 6 phương trình với 6 ẩn số là ψ , ω , w , C , k và ε ; hai biến u và v liên hệ với biến ψ qua công thức (2.14), (2.15) và biến p liên hệ với biến w qua công thức (2.16):

$$u = \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \quad (2.14)$$

$$v = -\frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial x} \quad (2.15)$$

$$\frac{\partial p}{\partial r} = \frac{\rho w^2}{r} \quad (2.16)$$

Các phương trình (2.8) ÷ (2.13) đã được biến đổi và đưa về dạng tổng quát để có thể giải bằng phương pháp khối hữu hạn [34]:

$$\underbrace{a_\varphi \left[\frac{\partial}{\partial x} \left(\varphi \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\varphi \frac{\partial \psi}{\partial x} \right) \right]}_{\text{đổi lưu (convection)}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left[b_\varphi \frac{\partial (c_\varphi \varphi)}{\partial x} \right] - \frac{\partial}{\partial r} \left[b_\varphi \frac{\partial (c_\varphi \varphi)}{\partial r} \right]}_{\text{khuếch tán (diffusion)}} + \underbrace{d_\varphi}_{\text{nguồn (source)}} = 0 \quad (2.17)$$

trong đó $\varphi \equiv \psi, \omega, w, C, k$ hay ε

$a_\varphi, b_\varphi, c_\varphi, d_\varphi \equiv$ các hệ số có liên hệ với biến φ

2.2.3 Phương pháp khối hữu hạn giải hệ phương trình toán

Phương trình tổng quát (2.17) sẽ được giải bằng phương pháp khối hữu hạn. Trình tự thực hiện qua 5 bước:

- *Bước 1.* Tạo lưới.
- *Bước 2.* Tích phân trên thể tích kiểm soát.
- *Bước 3.* Rời rạc hóa phương trình tích phân.

- *Bước 4.* Rời rạc hóa các điều kiện biên.
- *Bước 5.* Giải hệ phương trình đại số.

Tóm lại, việc đưa hệ phương trình vi phân biểu diễn dòng phun rối xoáy về dạng tổng quát và xây dựng thuật toán giải hệ phương trình cơ bản cho phép tính toán giá trị của các thông số tại các nút lưới và mô phỏng sự phân bố các biến.

2.3 Mô phỏng số

Việc mô phỏng số các thông số vật lý của dòng phun rối xoáy (u , v , w , p , C , k và ϵ) được thực hiện đối với đoạn đầu của dòng phun, dựa vào kết quả tính toán khi giải hệ phương trình vi phân (2.8) ÷ (2.13). Giá trị của các thông số tại các nút lưới ứng với các hệ số xoáy $S = 0$; 0,4 và 0,7.

2.4 Nhận xét

Việc bổ sung phương trình nồng độ cho dòng phun rối xoáy là hướng mới cho phép xem xét ảnh hưởng của dao động rối đến quá trình trao đổi chất trong dòng phun.

Việc chuyển đổi hệ phương trình vi phân về dạng tổng quát và quá trình xây dựng thuật toán giải hệ phương trình cho thấy phương pháp khối hữu hạn là phù hợp để giải hệ phương trình toán.

Việc mô phỏng số kết hợp với các điều kiện biên ban đầu cho phép xác định các đặc tính động học của quá trình tưới phun và các thông số hình học của dòng phun ứng với các hệ số xoáy khác nhau giúp tính toán thiết kế, chế tạo vòi phun.

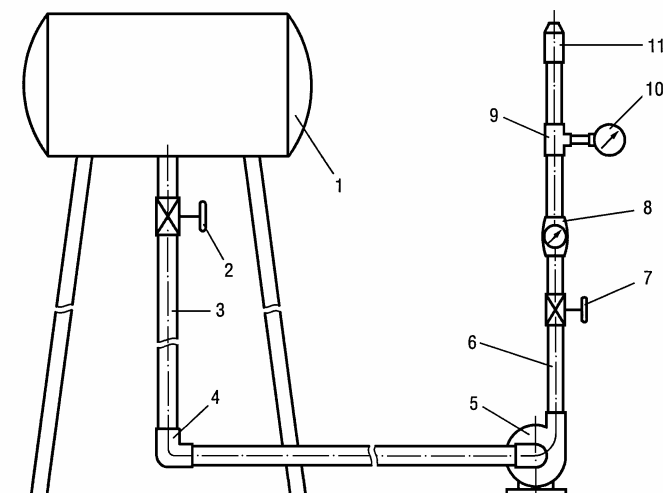
So sánh kết quả nghiên cứu thực nghiệm [5], [8], [10] và [37] với kết quả tính toán mô phỏng số (trong cùng một điều kiện như nhau về đường kính lỗ vòi phun, vận tốc, áp suất và hệ số xoáy) cho thấy các kết quả là tương đồng, sai số trung bình nhỏ ($< 5\%$) do quá trình tính toán đã bỏ qua một số yếu tố ảnh hưởng ít tới dòng phun. Điều này định kết quả mô phỏng số là đáng tin cậy.

3 NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM DÒNG PHUN RỐI XOÁY TRONG KỸ THUẬT TƯỚI PHUN

3.1 Mô hình thực nghiệm

3.1.1 Xây dựng mô hình thực nghiệm

Mô hình thực nghiệm dòng phun rối xoáy trong hệ thống thiết bị tưới phun sử dụng đầu phun tạo xoáy được mô tả ở hình 3.1.



Hình 3.1 Mô hình thực nghiệm:

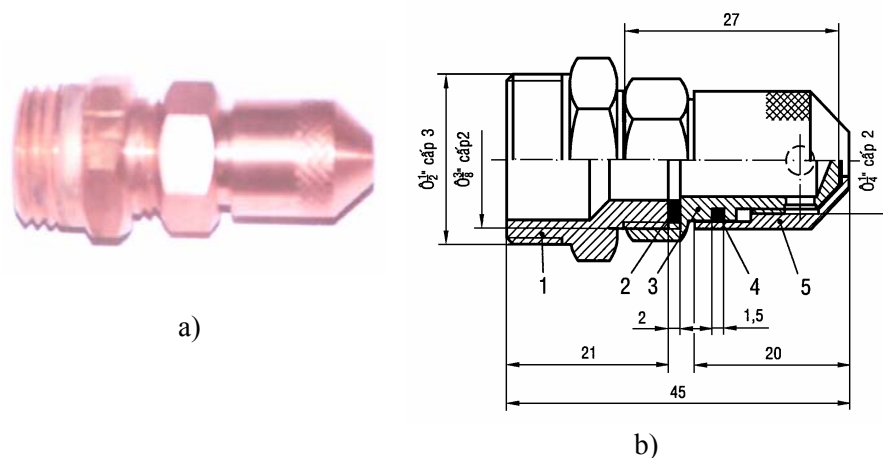
1. Bể chứa nước; 2. Van 1" ($\Phi 34$); 3. Ống $\Phi 34$; 4. Nối góc 90° ($\Phi 34$);
5. Bơm ly tâm; 6. Ống cấp I ($\Phi 27$); 7. Van $\Phi 27$; 8. Đồng hồ đo lưu lượng;
9. Nối chạc ba $\Phi 21$; 10. Đồng hồ đo áp suất; 11. Đầu vòi phun

3.1.2 Thiết kế, chế tạo đầu phun tạo xoáy

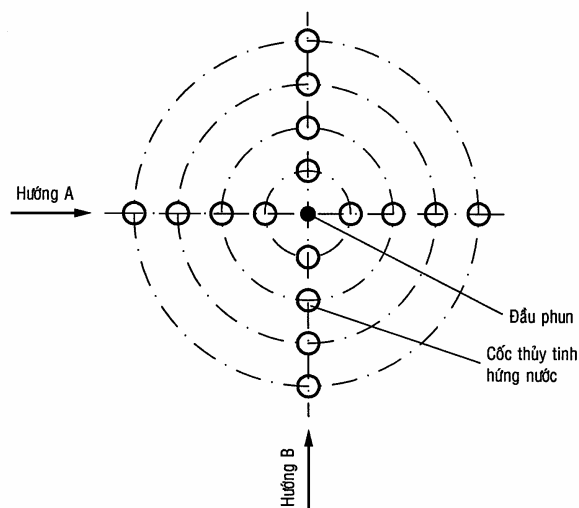
Để xây dựng mô hình thực nghiệm, tác giả chế tạo vòi phun xoáy bằng cách sử dụng các rãnh tạo xoáy. Đầu phun tạo xoáy (gồm 5 chi tiết) được thiết kế và gia công có hình dạng chung và cấu tạo như được trình bày ở hình 3.2.

3.1.3 Bố trí thực nghiệm và đo đạc các thông số của dòng phun

Mặt bằng sơ đồ bố trí thực nghiệm được mô tả ở hình 3.3.



Hình 3.2 Cấu tạo đầu phun tạo xoáy:
a) Hình dạng chung; b) Bản vẽ lắp
1. Ống nối chuyển bậc $\Phi 21 - \Phi 17$; 2, 4. Vòng đệm cao su;
3. Bộ phận tạo xoáy; 5. Đầu vòi phun



Hình 3.3 Mặt bằng sơ đồ bố trí thực nghiệm

Kết quả thực nghiệm đo đặc các thông số kỹ thuật của dòng phun và phân bố cường độ mưa ứng với các hệ số xoáy ($S = 0; 0,2; 0,4; 0,7$ và $1,2$) được trình bày trong bảng PL2.1 ÷ PL2.38 (phụ lục 2).

3.2 Kiểm chứng mô hình số

Qua so sánh hai kết quả giữa lý thuyết và thực nghiệm về góc phun, bán kính dòng phun và lưu lượng dòng phun nhận thấy, biên dạng của các đường đồ thị là tương đồng, tổng sai số trung bình sau khi tính toán lần lượt là 4,95%; 7,08% và 5,09%.

3.3 Xác định hệ số xoáy có hiệu quả trong mô hình thực nghiệm

Qua các đồ thị biểu diễn quan hệ giữa chiều rộng dòng phun, lưu lượng dòng phun, độ thô hạt mưa, sự phân bố cường độ mưa và độ đồng đều tưới phun với hệ số xoáy; đồng thời, qua nghiên cứu và phân tích mối quan hệ giữa các thông số kỹ thuật của dòng phun và hệ số xoáy cho thấy, hệ số xoáy có hiệu quả nhất trong mô hình thực nghiệm nằm trong khoảng $S = 0,7 \div 1,2$ vì cho bán kính dòng phun là lớn nhất, lưu lượng dòng phun là ổn định và đặc biệt là đạt độ đồng đều khi tưới rất cao.

3.4 Quy hoạch thực nghiệm

3.4.1 Lựa chọn các thông số thực nghiệm

- Các thông số đầu vào gồm: X_1 – đường kính vòi phun [mm]; X_2 – hệ số xoáy và X_3 – lưu lượng tưới [l/ph].
- Các thông số đầu ra: Y_1 – bán kính tưới phun [m]; Y_2 – độ đồng đều [%] và Y_3 – chi phí điện năng [kWh/m²].

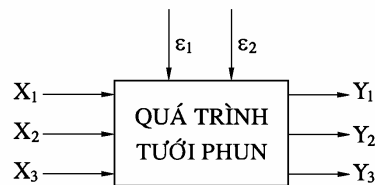
Quá trình tưới phun được thể hiện qua bài toán hộp đen như mô tả ở hình 3.4.

3.4.2 Kết quả thực nghiệm

Xuất phát từ mục đích và nội dung nghiên cứu đã xây dựng được bốn bài toán tối ưu:

- Bài toán 1

Hàm mục tiêu: $Y_1 \rightarrow \max$, hay:



Hình 3.4 Hộp đen mô tả quá trình nghiên cứu

$$Y_1 = 1,83632 - 0,266431X_1 + 0,0857037X_2 + 0,0746205X_3 + 0,306339X_1^2 + 0,0875X_1X_3 + 0,263913X_2^2 + 0,0675X_2X_3 + 0,332856X_3^2 \rightarrow \max$$

Hàm điều kiện: $+1,68179 \geq X_i \geq -1,68179$

• *Bài toán 2*

Hàm mục tiêu: $Y_2 \rightarrow \max$, hay:

$$Y_2 = 41,516 - 5,99529X_1 + 1,94473X_2 + 1,72073X_3 + 6,88751X_1^2 + 1,9625X_1X_3 + 5,96827X_2^2 + 1,5375X_2X_3 + 7,50624X_3^2 \rightarrow \max$$

Hàm điều kiện: $+1,68179 \geq X_i \geq -1,68179$

• *Bài toán 3*

Hàm mục tiêu: $Y_3 \rightarrow \min$, hay:

$$Y_3 = 3,35367 - 0,4858X_1 + 0,155931X_2 + 0,13869X_3 + 0,556165X_1^2 - 0,055X_1X_2 + 0,16X_1X_3 + 0,483686X_2^2 + 0,125X_2X_3 + 0,60743X_3^2 \rightarrow \min$$

• *Bài toán 4*

Hàm mục tiêu:

$$Y_3 = 3,35367 - 0,4858X_1 + 0,155931X_2 + 0,13869X_3 + 0,556165X_1^2 - 0,055X_1X_2 + 0,16X_1X_3 + 0,483686X_2^2 + 0,125X_2X_3 + 0,60743X_3^2 \rightarrow \min$$

Hàm điều kiện:

$$Y_1 = 1,83632 - 0,266431X_1 + 0,0857037X_2 + 0,0746205X_3 + 0,306339X_1^2 + 0,0875X_1X_3 + 0,263913X_2^2 + 0,0675X_2X_3 + 0,332856X_3^2 \geq [R_0]$$

$$Y_2 = 41,516 - 5,99529X_1 + 1,94473X_2 + 1,72073X_3 + 6,88751X_1^2 + 1,9625X_1X_3 + 5,96827X_2^2 + 1,5375X_2X_3 + 7,50624X_3^2 \geq [C_{u0}]$$

$$+1,68179 \geq X_i \geq -1,68179$$

Kết quả giải bài toán tối ưu đã xác định được các thông số tối ưu như sau:

- Đường kính vòi phun $d = 3,5\text{mm}$.
- Hệ số xoáy $S = 0,8$.
- Lưu lượng tưới $Q = 6,8\text{l/ph}$.

3.5 Nhận xét

So sánh kết quả kiểm chứng giữa mô hình số và kết quả đo đạc thực nghiệm với các điều kiện biên tương tự nhau về các thông số của dòng phun như góc phun, chiều rộng và lưu lượng dòng phun cho thấy là phù hợp nhau, sự biến thiên của các thông số là tương đồng, giá trị của chúng không có sự khác biệt lớn và nằm trong giới hạn cho phép. Điều đó thể hiện kết quả đo đạc thực nghiệm và kết quả tính toán mô phỏng số là đáng tin cậy.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm về mối quan hệ của hệ số xoáy với các thông số của dòng phun cũng cho thấy rằng, hiệu ứng xoáy có ảnh hưởng trực tiếp tới các thông số của dòng phun, đặc biệt là góc phun, cường độ phân bố mưa và độ đồng đều khi tưới. Khi hệ số xoáy cao $S \geq 0,4$ và đặc biệt là khi hệ số xoáy nằm trong khoảng $S = 0,7 \div 1,2$ thì cho tầm phun mưa rộng, độ thô của hạt mưa nhỏ và cho hiệu quả sử dụng nước cao nhất, do lượng mưa phân bố đồng đều từ tâm vòi phun tới tầm phun xa nhất. Đồng thời, qua quy hoạch thực nghiệm giải bài toán tối ưu, cũng đã xác định được các thông số tối ưu trong quá trình tưới phun ($d = 3,5\text{mm}$; $S = 0,8$; $Q = 6,8\text{l/ph}$), điều đó cho phép khẳng định kết quả thực nghiệm và kết quả tính toán mô phỏng là hoàn toàn phù hợp nhau.

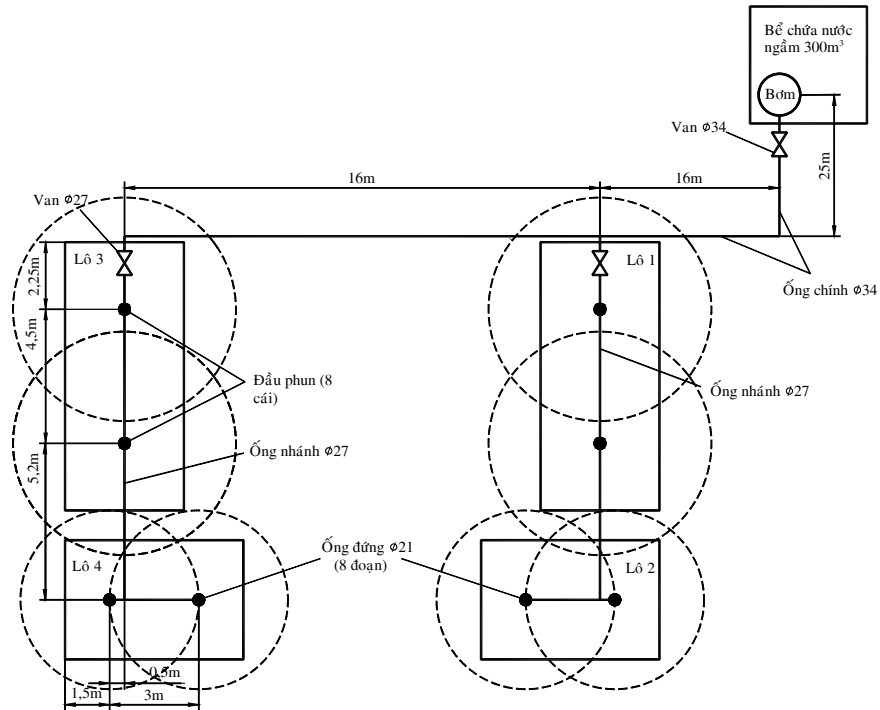
Tóm lại, từ kết quả thực nghiệm đã thiết kế, chế tạo được đầu phun tạo xoáy phục vụ cho mô hình thực nghiệm, từ đó cho phép kiểm chứng một số thông số của mô hình số đã xây dựng và cũng đã xác định được hệ số xoáy có hiệu quả nhất về tiêu chí sử dụng nước và năng lượng trong hệ thống thiết bị tưới phun.

4 ỨNG DỤNG THIẾT KẾ HỆ THỐNG TƯỚI PHUN

4.1 Tính toán thiết kế mô hình

4.1.1 Lựa chọn và bố trí đầu phun

Để phủ hết diện tích vùng tưới với lưu lượng nhỏ thì bán kính các đầu phun phải phủ lên nhau, nên sử dụng hai loại đầu phun có đường kính lỗ vòi là $d = 4\text{mm}$ và $d = 3\text{mm}$. Sơ đồ bố trí đầu phun và đường ống được giới thiệu ở hình 4.1.



Hình 4.1 Sơ đồ bố trí đầu phun và đường ống

4.1.2 Tính lưu lượng tại các đầu phun và lưu lượng trong các đoạn ống

Giá trị của lưu lượng dòng chảy trong các đoạn ống được liệt kê trong bảng 4.1.

4.1.3 Xác định đường kính các đoạn ống

Trong mô hình thiết kế có ba loại đường ống được chọn (hình 4.1):

- Đường ống chính cấp I có đường kính $\Phi 27\text{mm}$, chiều dài 57m.

- Đường ống nhánh cấp II có $\Phi 21\text{mm}$, chiều dài 29,9m.
- Đường ống nhánh cấp III có $\Phi 17\text{mm}$, chiều dài 3,2m.

4.1.4 Xác định vận tốc dòng chảy trong các đoạn ống

Giá trị vận tốc dòng chảy trong các đoạn ống được liệt kê trong bảng 4.1.

4.1.5 Xác định tổn thất trên đường ống cơ bản

Tổn thất cột áp h_{wd} cho từng đoạn ống được mô tả trong bảng 4.1.

Bảng 4.1 Tổng tổn thất cột áp trên đường ống cơ bản

Đoạn tính	Thông số					
	L [m]	D [m]	Q [m ³ /s]	v [m/s]	K [m ³ /s]	h_{wd} [mH ₂ O]
A-B	25	0,027	$0,556.10^{-3}$	1,0205	$8,46.10^{-3}$	0,1191
B-C	16	0,027	$0,556.10^{-3}$	1,0205	$8,46.10^{-3}$	0,0762
C-D	16	0,021	$0,278.10^{-3}$	0,8435	$8,46.10^{-3}$	0,0191
D-5	2,25	0,021	$0,278.10^{-3}$	0,8435	$8,46.10^{-3}$	0,0027
5-6	4,5	0,017	$0,210.10^{-3}$	0,9258	$8,46.10^{-3}$	0,0028
6-F	5,2	0,017	$0,122.10^{-3}$	0,5642	$8,46.10^{-3}$	0,0012
F-8	2,5	0,017	$0,061.10^{-3}$	0,2821	$8,46.10^{-3}$	0,0001
Tổng tổn thất						0,2212

4.1.6 Xác định chiều cao đặt bơm và chọn bơm

Sau khi tính toán, chọn bơm ly tâm có ký hiệu 1DK15 được chế tạo liền với động cơ điện có các thông số kỹ thuật: $N = 370\text{W}$; $n = 2900\text{vg/ph}$; $U = 220\text{V}$; $f = 50\text{Hz}$; $Q = 40\text{l/ph}$. $H_h = 4\text{mH}_2\text{O}$; $H_d = 8\text{mH}_2\text{O}$.

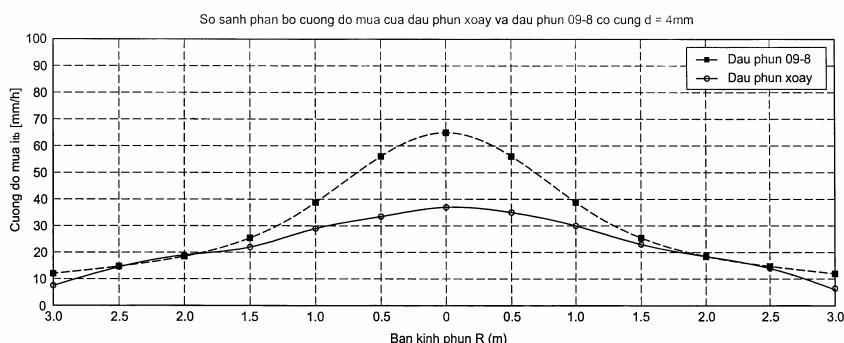
4.2 Đánh giá hiệu quả của các mô hình thiết kế

4.2.1 Kết quả ứng dụng 1

Để đánh giá kết quả ứng dụng mô hình hệ thống tưới phun, thực nghiệm đã sử dụng đầu phun 09–8 để so sánh về chỉ tiêu phân bố cường độ mưa (hình 4.2). Thực nghiệm được tiến hành trong cùng

một điều kiện như nhau: đường kính lỗ vòi $d = 4\text{mm}$ và áp lực phun $p = 2,0\text{bar}$.

So sánh giữa hai kết quả nhận thấy rằng: phân bố cường độ mưa của đầu phun xoáy cho kết quả đồng đều hơn từ tâm vòi phun tới biên dòng phun so với đầu phun 09–8; biên dạng phân bố cường độ mưa của hai loại đầu phun cho thấy có sự tương đồng; phân bố cường độ mưa và độ thô của hạt mưa của đầu phun 09–8 thấp hơn so với đầu phun tạo xoáy, lượng mưa tập trung nhiều ở tâm vòi phun. Qua đó có thể khẳng định lợi ích của việc ứng dụng hiệu ứng xoáy trong kỹ thuật tưới phun về sự phân bố cường độ mưa và độ thô của hạt mưa.



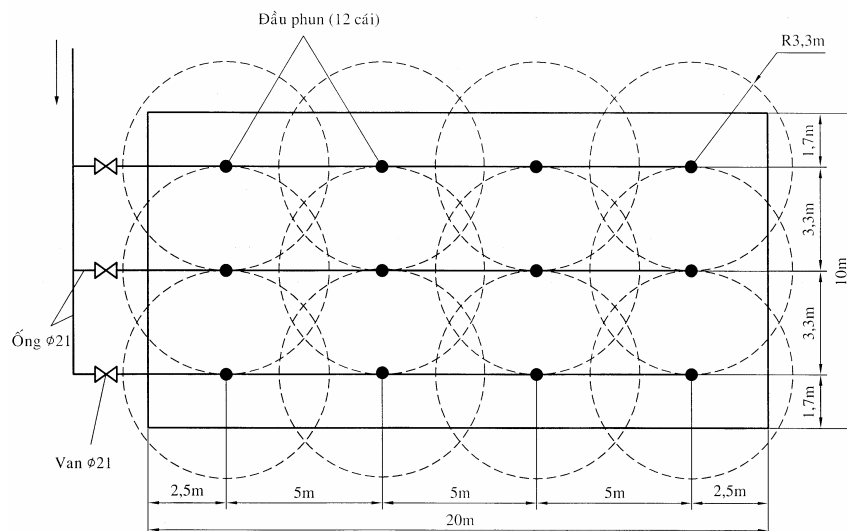
Hình 4.2 Đồ thị so sánh phân bố cường độ mưa của đầu phun tạo xoáy và đầu phun 09–8

4.2.2 Kết quả ứng dụng 2

Tại Trại thực nghiệm và sản xuất giống thuộc Công ty cổ phần Mía Đường La Ngà, Đồng Nai cho vườn ươm cây mía bầu trên diện tích 200m^2 ($10\text{m} \times 20\text{m}$) và sử dụng đầu phun mưa T92 của Trung Quốc sản xuất.

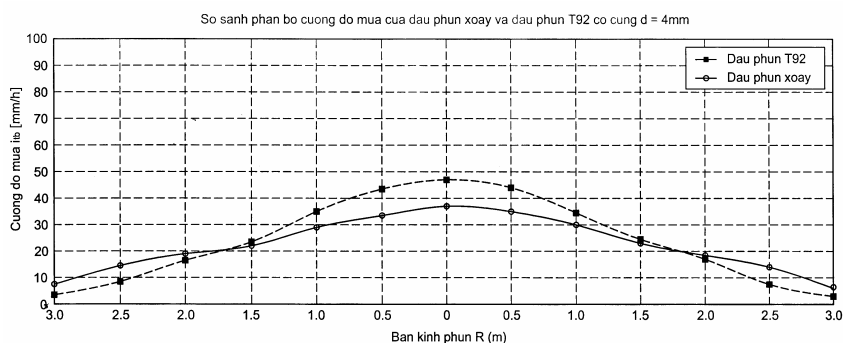
Để so sánh kết quả ứng dụng mô hình hệ thống tưới phun với đầu phun T92, thực nghiệm đã sử dụng đầu phun tạo xoáy có cùng các thông số kỹ thuật ($d = 4\text{mm}$; $p = 2,0\text{bar}$ và $S = 1,2$). Nguồn nước

tưới được bơm trực tiếp từ giếng lên, công suất bơm $N = 1,1\text{kW}$. Sơ đồ bố trí đầu phun và đường ống được mô tả ở hình 4.3.



Hình 4.3 Sơ đồ bố trí đầu phun và đường ống

Đồ thị so sánh về sự phân bố cường độ mưa của đầu phun tạo xoáy và của đầu phun T92 được biểu diễn ở hình 4.4, qua đó nhận thấy rằng: trong cùng một điều kiện bố trí thực nghiệm như nhau ($d = 4\text{mm}$ và $p = 2,0\text{bar}$), phân bố cường độ mưa của đầu phun xoáy



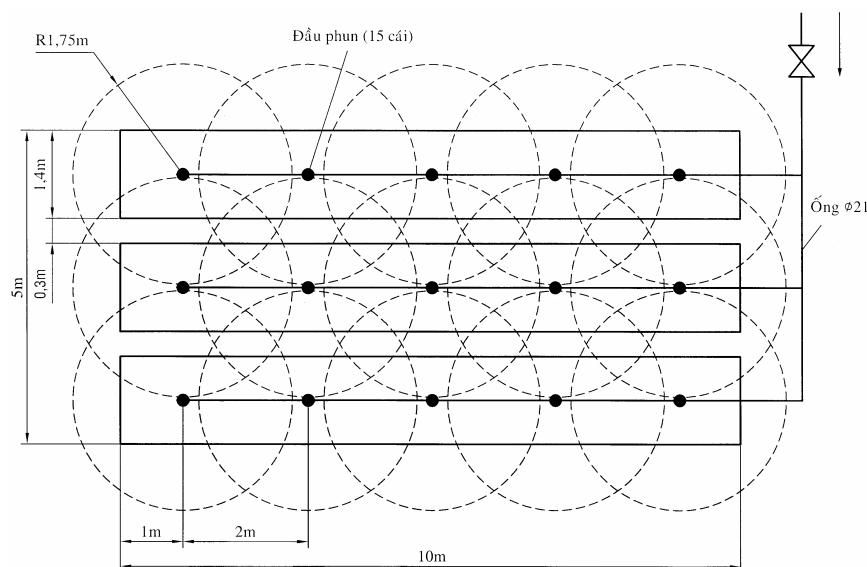
Hình 4.4 Đồ thị so sánh phân bố cường độ mưa của đầu phun tạo xoáy và đầu phun T92

cho kết quả đồng đều từ tâm vòi phun tới tầm phun xa nhất, bán kính phun mưa cũng lớn hơn so với đầu phun T92; biên dạng phân bố cường độ mưa của hai loại đầu phun cho thấy là giống nhau; phân bố cường độ mưa và độ thô của hạt mưa của đầu phun T92 thấp hơn so với đầu phun tạo xoáy.

4.2.3 Kết quả ứng dụng 3

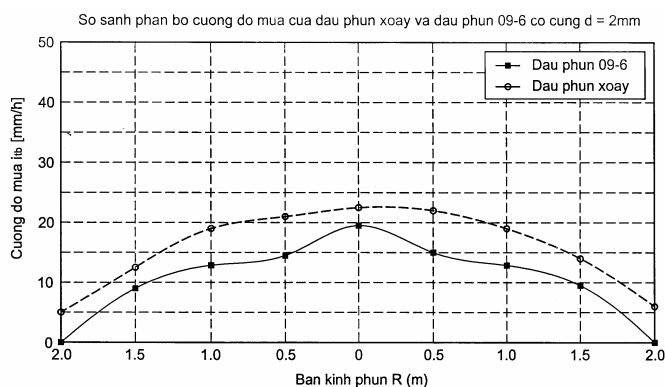
Tại Trại thực hành thực nghiệm Lâm sinh thuộc trường Cao đẳng nghề Công nghệ và Nông lâm Nam bộ tại huyện Tân Uyên, Bình Dương. Tại đây đang sử dụng đầu phun 09-6 do Việt Nam chế tạo.

Để có cơ sở so sánh kết quả ứng dụng mô hình hệ thống tưới phun với đầu phun 09-6, thực nghiệm đã sử dụng đầu phun tạo xoáy có các thông số kỹ thuật tương đương: đường kính lỗ vòi 2mm và 3mm, áp lực làm việc 2,0bar và hệ số xoáy $S = 1,2$. Nguồn nước tưới được xả từ bồn chứa 5m^3 có cao độ 6m so với mặt đất. Sơ đồ bố trí đầu phun và đường ống được mô tả ở hình 4.5.



Hình 4.5 Sơ đồ bố trí đầu phun và đường ống

Đồ thị so sánh về sự phân bố cường độ mưa của đầu phun tạo xoáy và của đầu phun 09-6 được thể hiện ở hình 4.6. So sánh giữa hai kết quả nhận thấy rằng: trong cùng một điều kiện bố trí thực nghiệm như nhau ($d = 2\text{mm}$ và $p = 2,0\text{bar}$), bán kính phun của đầu phun xoáy cho thấy rộng và đồng đều hơn, các đầu phun có đường kính lỗ vòi bé nên hạt mưa phun ra có dạng sương, rất thích hợp với các loại cây trồng ở vườn ươm; biên dạng của hai đồ thị có sự khác biệt, phân bố cường độ mưa của đầu phun 09-6 cho thấy lượng mưa tập trung nhiều ở tâm vòi phun và khoảng giữa của bán kính dòng phun; còn đầu phun xoáy cho kết quả đồng đều trên diện tích được phủ.



Hình 4.6 Đồ thị so sánh phân bố cường độ mưa của đầu phun tạo xoáy và đầu phun 09-6

4.3 Nhận xét

Kết quả ứng dụng hiệu ứng xoáy trong thiết kế hệ thống tưới phun mưa bằng cách sử dụng đầu phun tạo xoáy cho phép kiểm chứng và đánh giá ảnh hưởng của hiệu ứng xoáy tới chiều rộng của dòng phun và độ đồng đều khi tưới của nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm trước đó là phù hợp và đáng tin cậy.

So sánh các kết quả ứng dụng thực nghiệm tại ba đơn vị khác nhau khi sử dụng đầu phun tạo xoáy và các loại đầu phun khác có

bán trên thị trường cho thấy ưu điểm nổi bật của đầu phun tạo xoáy là cho tầm phun mưa rộng khi sử dụng hệ số xoáy cao ($S \leq 1,2$), phân bố lượng mưa đồng đều trên diện tích tưới, qua đó có thể giúp duy trì độ ẩm tối ưu cho cây trồng, phát huy được hiệu quả tiết kiệm nước và năng lượng do sử dụng áp lực làm việc không lớn, lưu lượng đòi hỏi không cao nên tiêu tốn nguồn điện năng và nước ít.

Tóm lại, các kết quả nghiên cứu lý thuyết và thực nghiệm dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun đã chứng tỏ đề tài đi đúng hướng, khả năng ứng dụng dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun cho thấy sẽ mang lại những hiệu quả thiết thực.

5 KẾT LUẬN CHUNG VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN CỦA ĐỀ TÀI

5.1 Kết luận chung

Từ những kết quả đạt được trong luận án, tác giả xin tóm tắt những vấn đề mới đã thực hiện trong quá trình nghiên cứu.

5.1.1 Kết quả nghiên cứu lý thuyết

1) Bổ sung phương trình nồng độ và ứng dụng mô hình rối k- ϵ cho dòng phun rối xoáy, qua đó khép kín mô hình toán biểu diễn dòng phun rối xoáy ứng dụng trong kỹ thuật tưới phun. Việc bổ sung phương trình nồng độ cho dòng phun rối xoáy trong hệ thống thiết bị tưới phun là hướng đi mới, cho phép xem xét ảnh hưởng của dao động rối lên quá trình trao đổi chất trong dòng phun.

2) Biến đổi hệ phương trình toán biểu diễn dòng phun rối xoáy về dạng tổng quát và xây dựng thuật toán giải hệ phương trình toán.

3) Tính toán mô phỏng số các thông số vật lý của dòng phun rối xoáy. Việc mô phỏng cho phép xác định các đặc tính động học của quá trình tưới phun và một số thông số hình học của dòng phun ứng với các hệ số xoáy khác nhau giúp cho việc thiết kế chế tạo vòi phun

và hệ thống tưới phun.

4) Xây dựng mối liên hệ giữa hệ số cường độ xoáy với các thông số vật lý, thông số hình học của dòng phun. Đây là cơ sở cho việc tính toán thiết kế hệ thống tưới phun khi sử dụng đầu phun tạo xoáy.

5.1.2 Kết quả nghiên cứu thực nghiệm

1) Đã thiết kế, chế tạo đầu phun tạo xoáy phục vụ cho mô hình thực nghiệm. Việc thiết kế, chế tạo đầu phun tạo xoáy cho phép tiến hành thực nghiệm đo đạc các thông số kích thước hình học và thông số vật lý của dòng phun để kiểm chứng lại một số thông số của mô hình số.

2) Đã xây dựng được mô hình thực nghiệm dòng phun rối xoáy ứng dụng trong kỹ thuật tưới phun, tiến hành thực nghiệm và đo đạc các thông số của dòng phun làm cơ sở kiểm chứng kết quả tính toán mô phỏng số từ nghiên cứu lý thuyết.

3) Đã tiến hành nghiên cứu và phân tích tác động của hiệu ứng xoáy tới các thông số kỹ thuật của dòng phun. Từ đó, xác định được phạm vi hiệu quả nhất của hệ số xoáy ($S = 0,7 \div 1,2$) về các tiêu chí cho bán kính dòng phun lớn, phân bố cường độ mưa đồng đều trên diện tích tưới và chất lượng tưới phun thông qua hệ số C_U .

4) Bằng phương pháp quy hoạch thực nghiệm, đã thiết lập được phương trình hồi quy cho các hàm: bán kính tưới phun, độ đồng đều tưới phun và chi phí điện năng. Từ đó xác định được các thông số tối ưu của quá trình tưới phun: đường kính vòi phun $d = 3,5\text{mm}$; hệ số xoáy $S = 0,8$ và lưu lượng tưới $Q = 6,8\text{l/ph}$.

5.1.3 Ứng dụng kết quả nghiên cứu

1) Đã ứng dụng kết quả tính toán mô phỏng số và thực nghiệm để thiết kế và lắp đặt hệ thống tưới phun mưa sử dụng đầu phun tạo xoáy cho một mô hình cụ thể. Sau khi thiết kế và lắp đặt, hệ thống tưới phun mưa sử dụng đầu phun tạo xoáy đã hoạt động ổn định,

thỏa mãn các tiêu chí bán kính tưới phun và độ đồng đều khi tưới.

2) Đã tiến hành so sánh kết quả ứng dụng thực tế hệ thống tưới phun tại ba đơn vị khác nhau khi sử dụng đầu phun tạo xoáy cho thấy, đầu phun tạo xoáy có nhiều ưu điểm nổi bật: cho tầm phun mưa rộng khi hệ số xoáy cao, lượng mưa phân bố đồng đều trên diện tích tưới, cỡ hạt mưa nhỏ, tiết kiệm nước và điện năng, tiết kiệm công sức của người lao động, thích hợp với các loại cây trồng mềm yếu như hoa, vườn ươm, cây đang ra hoa, thụ phấn và cây trồng cao cấp trong nhà kính hay không gian tĩnh lặng và ngoài khả năng tưới còn làm mát cho cây trồng và cải tạo vi khí hậu.

Tóm lại, với mục tiêu đề ra, luận án đã thực hiện hoàn thành các nội dung nghiên cứu bao gồm nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm và ứng dụng cho hệ thống tưới phun mưa sử dụng đầu phun tạo xoáy. Dòng phun rối xoáy cho thấy có khả năng ứng dụng thực tiễn để nâng cao hiệu quả của các hệ thống tưới phun, giúp tăng năng suất cây trồng, tiết kiệm nước và năng lượng, duy trì độ ẩm tối ưu cho cây trồng.

5.2 Hướng phát triển của đề tài

Trong quá trình nghiên cứu thực nghiệm, vì điều kiện không cho phép đo đầy đủ các thông số của dòng phun như vận tốc, nồng độ... Có những thông số phải được tính toán thông qua những thông số khác, chẳng hạn như vận tốc dọc trục lớn nhất tại miệng phun thông qua lưu lượng. Vì vậy, đề tài chỉ so sánh và đánh giá kết quả tính toán mô phỏng số với một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm của các tác giả khác; so sánh và đánh giá kết quả nghiên cứu từ mô hình thực nghiệm với kết quả tính toán mô phỏng số cho một số thông số vật lý và thông số kích thước hình học của dòng phun. Do đó, hướng phát triển của đề tài sẽ là:

– Nghiên cứu khả năng triển khai thực nghiệm một số thông số vật lý khác của dòng phun như vận tốc, nồng độ...

– Ứng dụng hiệu ứng xoáy, nghiên cứu chế tạo các đầu phun với các cung phun khác nhau: 360^0 , 270^0 , 180^0 hay 90^0 để thiết kế các mô hình tưới triệt để tiết kiệm nước. Nghiên cứu chế tạo các đầu phun có các kích thước và đường kính lỗ vòi khác nhau để có thể ứng dụng tưới trên những diện tích và các loại cây trồng khác nhau.

– Mô hình cần được áp dụng và tổ chức thực hiện đối với một loại cây trồng cụ thể và trong một thời gian dài để có thể đánh giá chính xác hiệu quả về các chỉ tiêu như tăng năng suất cây trồng, sử dụng nước hợp lý, tiết kiệm nước, tiết kiệm năng lượng và các chỉ tiêu khác của dòng phun rối xoáy trong kỹ thuật tưới phun.

6 CÁC TÀI LIỆU CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

- [1] Vo Tuyen et al, “Optimization Parameters of Irrigation Proceress According to the Uniformity”, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ tập 15 Đại học Quốc gia Tp.HCM*, 10/2012.
- [2] Võ Tuyền et al, “Xác định giá trị tối ưu cho các thông số của vòi phun bằng quy hoạch thực nghiệm”, *Tuyển tập công trình Hội nghị CHTK toàn quốc năm 2011 Nghệ An*, 07/2012.
- [3] Vo Tuyen et al, “Optimization of Parameters of Irrigation Proceress According to Irrigation Radius”, *S&T Development EMΦ, Bulgaria*, 09/2011.
- [4] Vo Tuyen et al, “Research on Numerical Simulation for Velocity Distribution of Swirling Turbulent Jets in Spray Irrigation Technology”, *Tạp chí Phát triển Khoa học và Công nghệ tập 13 Đại học Quốc gia Tp.HCM*, 10/2010.
- [5] Võ Tuyền et al, “Nghiên cứu ứng dụng hiệu ứng xoáy thiết kế hệ thống tưới phun mưa”, *Báo cáo Hội nghị CHTK toàn quốc năm 2010 Quy Nhơn*, 07/2010.
- [6] Võ Tuyền, Nguyễn Thanh Nam, “Giải pháp hữu ích cho Đầu phun tạo xoáy”, *Cục sở hữu trí tuệ, Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội*, 04/1010.

- [7] Võ Tuyền et al, “Nghiên cứu thực nghiệm sự phân bố cường độ mưa trong hệ thống tưới phun ứng dụng hiệu ứng xoáy”, *Báo cáo Hội nghị CHTK toàn quốc năm 2009 Đà Nẵng*, 07/2009.
- [8] Võ Tuyền et al, “Thiết kế, chế tạo đầu phun xoáy trong kỹ thuật tưới phun”, *Tạp chí Khoa học và Phát triển Đại học Nông nghiệp tập 7, Hà Nội*, 06/2009.
- [9] Vo Tuyen et al, “Research on Numerical Simulation for Velocity Distribution of Swirling Turbulent Jets in Spray Irrigation Technology”, *The Int. Workshop on “Thermal Hydrodynamics of Multiphase Flows and Appl.” Hanoi*, 05/2009.
- [10] Vo Tuyen et al, “Research Impact of Swirl Effect to the Distribution of Rain-Spray Intensity and Uniform when Irrigated in Spray Irrigation Technology”, *The Int. Workshop on “Thermal Hydrodynamics of Multiphase Flows and Applications” Hanoi*, 05/2009.
- [11] Võ Tuyền et al, “Nghiên cứu chế tạo đầu phun tạo xoáy và ảnh hưởng của hiệu ứng xoáy tới góc phun trong kỹ thuật tưới phun”, *Báo cáo Hội nghị KHCN Cơ khí chế tạo toàn quốc lần thứ nhất và Tạp chí Cơ khí số 137, Tp. HCM*, 12/2008.
- [12] Võ Tuyền et al, “Nghiên cứu tác động của hiệu ứng xoáy tới các thông số kỹ thuật của dòng phun trong kỹ thuật tưới phun”, *Hội nghị KHCN Cơ khí chế tạo toàn quốc lần thứ nhất, Tp. HCM*, 12/2008.
- [13] Võ Tuyền et al, “Xây dựng thuật toán giải hệ phương trình vi phân cơ bản biểu diễn dòng phun rối xoáy phun trong kỹ thuật tưới phun bằng phương pháp khối hữu hạn”, *Hội nghị KHCN CKCT toàn quốc lần thứ nhất, Tp. HCM*, 12/2008.
- [14] Vo Tuyen et al, “Mathematical Model of Two-Phase Swirling Turbulent Jets in Irrigation Technology”, *S&T Development EMΦ, Bulgaria*, 09/2008.
- [15] Vo Tuyen et al, “Water Jets and Injecting Irrigation Technology”, *Science & Technology Development EMΦ, Bulgaria*, 09/2004.