

THÔNG TIN VỀ LUẬN ÁN TIẾN SĨ

- 1. Họ và tên nghiên cứu sinh:** NGUYỄN XUÂN LAN **2. Giới tính:** Nữ
3. Ngày sinh: 01/02/1981 **4. Nơi sinh:** Hà Nội
5. Quyết định công nhận nghiên cứu sinh: số 2408/QĐ-ĐHKHTN ngày 01/09/2021 của trường ĐH Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN về việc công nhận nghiên cứu sinh đợt 1 năm 2021
6. Các thay đổi trong quá trình đào tạo (nếu có):
7. Tên đề tài luận án: Nghiên cứu nâng cao hiệu quả xử lý sinh học của công nghệ SBR ứng dụng bùn hạt định hướng tái sử dụng nước thải đô thị
8. Chuyên ngành: Kỹ thuật Môi trường **9. Mã số:** 9520320.01
10. Cán bộ hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Đặng Thị Thanh Huyền
GS.TS. Nguyễn Mạnh Khải

11. Tóm tắt các kết quả mới của luận án:

11.1 Mục đích: Nghiên cứu nâng cao hiệu quả của công nghệ SBR thông qua các giải pháp phát triển sinh khối vi sinh thành dạng hạt để xử lý đồng thời các chất ô nhiễm hữu cơ (COD) và các chất dinh dưỡng (N, P) trong nước thải đô thị đặc thù ở Việt Nam, định hướng tái sử dụng.

11.2. Đối tượng nghiên cứu: (i) Hệ thống xử lý nước thải dạng bể phản ứng sinh học theo mẻ SBR; (ii) Bùn vi sinh dạng hạt và các vật liệu hỗ trợ phát triển bùn hạt là than sinh học vỏ trấu, hạt PVA gel tự tạo, bùn hạt trữ lạnh; (iii) Nước thải đô thị

11.3. Các phương pháp nghiên cứu: (i) Phương pháp tổng quan tài liệu; (ii) Phương pháp thực nghiệm trên các hệ SBR quy mô phòng thí nghiệm; (iii) Phương pháp quan trắc, phân tích các chỉ tiêu chất lượng môi trường, nước, bùn, và vi sinh; (iv) Phương pháp xử lý, phân tích, tổng hợp và so sánh số liệu nghiên cứu.

11.4. Các kết quả chính, đóng góp mới: (i) Làm sáng tỏ quá trình hình thành bùn hạt từ bông bùn non với sự hỗ trợ của than trấu sinh học như vai trò tạo nhân hạt, bảo vệ vi sinh vật dưới áp lực chọn lọc thủy lực cao, kích thích khung khoáng hóa để tăng độ bền hạt, từ đó góp phần nâng cao hiệu quả của công nghệ SBR; (ii) Thử nghiệm thành công hạt gel PVA/ NaNO_3 tự chế tạo có cấu trúc xốp rỗng, độ bền và độ đàn hồi cao, khả năng lắng nhanh làm vật liệu mang trong hệ SBR để phát triển màng sinh học cố định thay vì vi sinh vật phải tự tạo hạt như bùn hạt hiếu khí; (iii) Chứng minh được bùn hạt hiếu khí có thể lưu trữ lạnh trong nhiều năm và có khả năng phục hồi hoạt tính vi sinh vật để thực hiện chức năng xử lý nước thải khi được tái hoạt hóa trong hệ SBR.

11.5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

- Ý nghĩa khoa học: Các kết quả nghiên cứu của đề tài sẽ đóng góp vào cơ sở lý thuyết về phương pháp xử lý nước thải sinh học bằng sinh khối dạng hạt trong công

nghe SBR để nâng cao hiệu quả xử lý nước thải đô thị so với công nghệ SBR truyền thống sử dụng sinh khối bùn hoạt tính sinh trưởng lơ lửng, với các sinh khối dạng hạt khác nhau: (i) sinh khối dạng hạt do vi sinh vật tự kết tụ từ bùn giống lưu trữ với sự hỗ trợ của than trấu sinh học, tạo thành bùn hạt hiếu khí cải tiến với phụ gia than trấu; (ii) sinh khối dạng hạt do vi sinh vật phát triển dính bám cố định trên hạt chất mang PVA gel tự tạo; (iii) bùn hạt hiếu khí được tái hoạt hóa từ bùn hạt giống lưu trữ lạnh trong thời gian dài.

- Ý nghĩa thực tiễn: (i) Các kết quả nghiên cứu khoa học có thể tham khảo để thiết kế và vận hành công nghệ SBR bằng sinh khối dạng hạt xử lý nước thải đô thị theo nguyên lý mở nối tiếp ở các quy mô lớn hơn như quy mô thí điểm (pilot) tại hiện trường hoặc quy mô thực tế (full-scale); (ii) Việc sử dụng than sinh học từ vỏ trấu, một phế phẩm nông nghiệp, làm phụ gia hỗ trợ quá trình phát triển bùn hạt hiếu khí, việc tự chế tạo hạt PVA gel làm chất mang để phát triển màng sinh học cố định, và việc tái hoạt hóa bùn hạt lưu trữ để chủ động nguồn bùn giống đã góp phần định hướng nội địa hóa các giải pháp phát triển sinh khối dạng hạt, làm chủ công nghệ SBR trong việc ứng dụng linh hoạt các dạng sinh khối khác nhau để xử lý nước thải, kết hợp thu hồi tài nguyên, thúc đẩy kinh tế tuần hoàn như một định hướng chiến lược để đảm bảo an ninh nguồn nước trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

11.6. Kết luận

- Luận án đã nghiên cứu phát triển về các giải pháp phát triển bùn hạt khác nhau có thể sử dụng trong bể SBR để xử lý nước thải đô thị. Giải pháp thứ nhất là nuôi tạo bùn hạt với phụ gia than trấu (với tỷ lệ than: bùn = 1:2 về khối lượng), trong đó các hạt bùn hiếu khí với sự phân bố rải rác các hạt than trong kết cấu và hình thái được hình thành ngay từ ngày thứ năm vận hành hệ SBR. Kích thước hạt bùn than trấu có thể lên đến 4-5 mm. Tốc độ lắng do đó tăng khoảng 5 lần so với bùn hoạt tính thông thường. Điều này cho phép giảm diện tích công trình bể lắng trong nhà máy xử lý. Giải pháp thứ hai là tạo hạt giá thể PVA gel theo công thức trong đó dung dịch gồm 50g PVA và 10g $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$ hòa vào 0.5L nước, sau đó nhỏ vào dung dịch (NaNO_3 và CaCl_2) để tạo hạt. Kết quả cho các hạt giá thể PVA gel có màu trắng, hình tròn đều, kết cấu gel, dẻo, chắc. Sau 5 tuần vận hành, các hạt PVA gel không nứt vỡ, lắng tốt, với lượng sinh khối bám dính lên hạt là 0.4 gTSS/g hạt, độ lớn thủy lực của hạt là 56 mm/s.

- Đối với bùn hạt bùn được nuôi tạo với phụ gia than trấu, hiệu quả loại bỏ chất hữu cơ và chất dinh dưỡng được duy trì ổn định ở mức 97,8%, 100% và 35% đối với COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ khi xử lý nước thải sinh hoạt đô thị điển hình với hàm lượng chất ô nhiễm đầu vào COD: 370 ± 20 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$: $25 \pm 0,2$ mg/L, Nito dao động trong khoảng 35-40 mg/L. Hiệu quả xử lý nước thải của hệ SBR sử dụng hạt bùn PVA gel được đánh giá theo các chỉ tiêu TSS, COD, NH_4^+ là khá cao, lần lượt là 88%, 90%, 92%. Luận án cũng đã cho thấy bùn hạt có thể lưu trữ trong thời gian dài. Thời gian tái hoạt hóa thường mất khoảng 2 tuần trong hệ SBR dạng cột. Quá trình vận hành đòi hỏi giảm dần áp lực lựa chọn thủy lực (thời gian lắng từ 40 phút giảm xuống 3 phút) để từ từ phục hồi hoạt tính. Sau khi tái hoạt hóa, hiệu quả xử lý các cơ chất trong nước thải

giả định có xu hướng tăng theo thời gian, với giá trị trung bình đạt 86% với COD, 83% với NH_4^+ và 86,7% với PO_4^{3-} .

12. Các hướng nghiên cứu tiếp theo (Kiến nghị):

- Các nghiên cứu trong tương lai sẽ bao gồm thử nghiệm với nước thải thực tế với nhiều kịch bản vận hành khác nhau để tối ưu hóa khả năng xử lý đồng thời C, N, P trong hệ thống, để chứng minh khả năng áp dụng AGS trong công nghệ SBR quy mô thực tế ở Việt Nam.

- Thử nghiệm các phương pháp phân tích các đặc tính đặc trưng của bùn hạt và các phương pháp phân tích hiện đại để đồng bộ dữ liệu với các nghiên cứu quốc tế về bùn hạt như phân tích thành phần EPS trong bùn hạt, tính kỵ nước, phân tích sự hiện diện của vi sinh vật trong bùn hạt bằng kính hiển vi huỳnh quang với đầu dò lai ghép tại chỗ (FISH), realtime qPCR, để chứng minh về động học hóa sinh trực tiếp liên quan đến các vi khuẩn *Defluviicoccus* (GAO) và PAOs trong việc sử dụng VFA, cũng như đánh giá sự ảnh hưởng của nhiệt độ đối với sự phát triển các vi khuẩn GAO/PAO trong các quá trình xử lý nước thải đô thị.

13. Các công trình công bố liên quan đến luận án:

(1) **Nguyen Xuan Lan**, Nguyen Manh Khai, Dang Thi Thanh Huyen (2022), Aerobic granular sludge (AGS) technology under tropical climate conditions – A review, Vietnam Journal of Science and Technology 60 (5B), 170-183, <https://doi.org/10.15625/2525-2518/17414>

(2) **Lan Xuan Nguyen**, Khai Manh Nguyen, Huyen Thi Thanh Dang (2023), Evaluation of the Recovery of Stored Granules to Promote Practical Wastewater Treatment by Aerobic Granular Sludge Process, Journal of Water and Environment Technology Vol.21, No.6: 297–308, <https://doi.org/10.2965/jwet.23-079>

(3) **Nguyen Xuan Lan**, Dang Thi Thanh Huyen, Pham Thi Thuy, Nguyen Manh Khai (2024), Improvement of biofilm activities in sequencing batch reactor via polyvinyl alcohol (PVA) granules addition, Journal of Science and Technology in Civil Engineering, HUCE, 18 (4): 54–68, [https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(4\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(4)-05)

(4) **Nguyen Xuan Lan**, Bui Thi Thanh Thuy (2021), Research on Fabrication of the Lab-Scale Sequencing Batch Reactor System for Wastewater Treatment Experiment, Journal of Science on Natural Resources and Environment, No. 39: 12/2021

Hà Nội, ngày 30 tháng 07 năm 2026

TM. Tập thể hướng dẫn
(Ký và ghi rõ họ tên)

Nghiên cứu sinh
(Ký và ghi rõ họ tên)

PGS. TS. Đặng Thị Thanh Huyền

Nguyễn Xuân Lan

INFORMATION ON DOCTORAL THESIS

- 1. Full name:** NGUYEN XUAN LAN **2. Gender:** Female
3. Date of birth: February 1, 1981 **4. Place of birth:** Hanoi
5. Decision on doctoral candidate recognition: No. 2408/QĐ-DHKHTN dated September 1, 2021, of the University of Science - VNU Hanoi on recognizing doctoral candidates in the first batch of 2021.
6. Changes during the training process (if any): -
7. Thesis Title: Research on improving the biological treatment efficiency of the SBR technology applying granular sludge toward municipal wastewater reuse.
8. Major: Environmental Engineering **9. Code:** 9520320.01
10. Scientific supervisors: Assoc. Prof. Dr. Dang Thi Thanh Huyen
Prof. Dr. Nguyen Manh Khai

11. Summary of the new findings of the thesis

11.1. Objectives: This research aims to improve the efficiency of SBR technology through solutions for developing granular microbial biomass to simultaneously treat organic pollutants (COD) and nutrients (N, P) in specific municipal wastewater in Vietnam, intended to reuse.

11.2. Research objects: (i) Lab-scaled SBR systems for wastewater treatment; (ii) Granular microbial sludge and supporting additives for granular sludge development such as rice husk biochar (RHB), granular PVA gel, stored granular sludge; (iii) Municipal wastewater.

11.3. Research methods: (i) Literature review method; (ii) Experimental method on lab-scaled SBR systems; (iii) Monitoring and analysis of parameters on environment, water, sludge qualities and microorganisms; (iv) Methods for processing, analyzing, synthesizing, and comparing research data.

11.4. Key results and new contributions: (i) Clarifying the process of granular sludge formation from sludge flocs with the support of RHB additive, such as its role in granulation, protecting microorganisms under high selective hydraulic pressure, stimulating mineralization frameworks to increase granule strength, thereby contributing to improving the efficiency of SBR technology; (ii) Successfully testing self-made PVA/NaNO₃ gel granules with porous structure, high strength and elasticity, and rapid settling ability as a biocarrier in SBR systems to develop immobilized biofilms instead of microorganisms having to self-granulation as in aerobic granular sludge; (iii) Demonstrating that aerobic granular sludge can be refrigerated for years and has the ability to recover microbial activity to perform wastewater treatment functions when reactivated in the SBR system.

11.5. Scientific and practical significance

- Scientific significance: The research results of this project will contribute to the theoretical basis of biological wastewater treatment methods using granular biomass in SBR technology to improve the efficiency of municipal wastewater treatment compared to traditional SBR technology using conventional activated sludge, with different granular biomass types: (i) granular biomass formed by microorganisms self-

agglomerating from stored seed sludge with the support of RHB additive, creating modified aerobic granular sludge with biochar additive; (ii) granular biofilm formed by microorganisms growing and immobilizing on self-created PVA gel biocarrier; (iii) aerobic granular sludge reactivated from long-term cold-stored seed granular sludge.

- Practical significance: (i) Scientific research results can be used as a reference for designing and operating granular biomass SBR technology for treating municipal wastewater using the sequential batch principle at larger scales such as pilot or full-scale applications; (ii) The use of biochar from rice husks, an agricultural byproduct, as an additive to support the development of aerobic granular sludge, the self-created PVA gel biocarrier for the development of fixed biofilms, and the reactivation of stored granular sludge have contributed to the localization of granular biomass development solutions, mastering SBR technology in the flexible application of different biomass forms for wastewater treatment, combining resource recovery, and promoting the circular economy as a strategic direction to ensure water security in the context of climate change.

11.6. Conclusions

- The thesis comprehensively investigated various granular sludge development solutions applicable to SBR systems for municipal wastewater treatment. According to the first solution, granulation using a rice husk biochar additive (at a biochar-to-sludge mass ratio of 1:2), where aerobic granules embedded with dispersed biochar particles within their morphology and structure were successfully formed by the fifth day of SBR operation. The biochar-augmented granules reached sizes up to 4–5 mm, increasing the settling velocity by approximately 5-fold compared to conventional activated sludge, which allows for a reduction in the footprint of settling tanks in treatment plants. For the second solution, the synthesis of PVA gel carrier beads was conducted via a formulation consisting of 50 g PVA and 10 g $\text{NaC}_6\text{H}_7\text{O}_6$ dissolved in 0.5 L of water, which was subsequently dropped into a NaNO_3 and CaCl_2 solution for cross-linking. The resulting PVA gel carrier beads were uniform, spherical, white, elastic, and mechanically robust. After 5 weeks of continuous SBR operation, the PVA gel beads exhibited no cracking, settled rapidly, accumulated an attached biomass density of 0.4 g TSS/g bead, and achieved a settling velocity of 56 mm/s.

- For the SBR system operating with biochar-augmented granular sludge, organic and nutrient removal efficiencies remained highly stable at 97.8% for COD, 100% for $\text{NH}_4^+\text{-N}$, and 35% for $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ when treating typical municipal wastewater with influent characteristics of COD: 370 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$: 25 mg/L, and total nitrogen ranging between 35–40 mg/L. For the SBR system utilizing PVA gel beads, the wastewater treatment efficiency was also high, reaching 88% for TSS, 90% for COD, and 92% for NH_4^+ . The thesis also demonstrated the feasibility of long-term storage for granular sludge. The reactivation period typically required approximately 2 weeks in a column-type SBR. The start-up operation required a gradual increase in hydraulic selection pressure (stepwise reduction of settling time from 40 minutes down to 3 minutes) to progressively restore microbial activity. Following reactivation, substrate

removal efficiencies for synthetic wastewater showed an increasing trend over time, averaging 86% for COD, 83% for NH_4^+ , and 86.7% for PO_4^{3-} .

12. Future research directions (Recommendations)

- Future studies should involve testing with real wastewater under diverse operational scenarios to optimize the simultaneous removal of C, N, and P, thereby validating the scalability and feasibility of Aerobic Granular Sludge (AGS) in SBR technology under full-scale conditions in Vietnam.

- Incorporate advanced analytical techniques to characterize the granular sludge properties and align datasets with international research standards. This includes analyzing extracellular polymeric substances (EPS) composition, surface hydrophobicity, and mapping microbial community structures using Fluorescence In-Situ Hybridization (FISH), real-time qPCR, etc. Such methods will provide direct evidence of the biochemical kinetics related to Accumulibacter (PAOs) and Competibacter/Defluviicoccus (GAOs) regarding volatile fatty acid (VFA) uptake, alongside assessing the impact of temperature fluctuations on the competition and growth of GAO/PAO communities in municipal wastewater treatment.

13. Thesis-related publications

(1) **Nguyen Xuan Lan**, Nguyen Manh Khai, Dang Thi Thanh Huyen (2022), Aerobic granular sludge (AGS) technology under tropical climate conditions – A review, Vietnam Journal of Science and Technology 60 (5B), 170-183, <https://doi.org/10.15625/2525-2518/17414>

(2) **Lan Xuan Nguyen**, Khai Manh Nguyen, Huyen Thi Thanh Dang (2023), Evaluation of the Recovery of Stored Granules to Promote Practical Wastewater Treatment by Aerobic Granular Sludge Process, Journal of Water and Environment Technology Vol.21, No.6: 297–308, <https://doi.org/10.2965/jwet.23-079>

(3) **Nguyen Xuan Lan**, Dang Thi Thanh Huyen, Pham Thi Thuy, Nguyen Manh Khai (2024), Improvement of biofilm activities in sequencing batch reactor via polyvinyl alcohol (PVA) granules addition, Journal of Science and Technology in Civil Engineering, HUCE, 18 (4): 54–68, [https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18\(4\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.huce2024-18(4)-05)

(4) **Nguyen Xuan Lan**, Bui Thi Thanh Thuy (2021), Research on Fabrication of the Lab-Scale Sequencing Batch Reactor System for Wastewater Treatment Experiment, Journal of Science on Natural Resources and Environment, No. 39: 12/2021

Date: July 30, 2026

On behalf of scientific supervisors

PhD. student

Assoc. Prof. Dang Thi Thanh Huyen

Nguyen Xuan Lan