

Nghiên cứu chế tạo thiết bị dựa trên nguyên lý đo áp suất để theo dõi liên tục BOD trong thời gian dài nhằm xác định đặc tính nước thải

Trương Thị Trang¹, Đỗ Anh Tuấn²,
Nguyễn Thanh Đàm¹, Phạm Hùng Việt^{1*}

¹Phòng thí nghiệm trọng điểm Công nghệ phân tích phục vụ kiểm định môi trường
và an toàn thực phẩm, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

²Phòng Công nghệ tự động hóa, Viện Công nghệ Thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Ngày nhận bài 17/10/2018; ngày gửi phản biện 19/10/2018; ngày nhận phản biện 16/11/2018; ngày chấp nhận đăng 22/11/2018

Tóm tắt:

Nhu cầu oxy sinh hóa (BOD) là một trong những thông số quan trọng trong phân tích môi trường, cho phép đánh giá mức độ ô nhiễm hữu cơ có khả năng phân hủy sinh học dưới điều kiện hiếu khí. Mặc dù việc xác định BOD trong thời gian dài (khoảng 20 ngày) với tần suất cao (có thể tới 5 phút/lần) đem lại nhiều thông tin hữu ích về đặc tính của nước thải, nhưng các thiết bị đo BOD thương mại hiện nay chưa đáp ứng nhu cầu trên. Nghiên cứu này đã phát triển thành công một hệ đo BOD mới, dựa trên nguyên lý đo áp suất, cho phép theo dõi liên tục giá trị BOD của mẫu nước thải trong thời gian dài (trên 20 ngày). Thiết bị sử dụng sensor đo áp suất kiểu tương đối theo nguyên lý áp trở với khoảng hoạt động từ 0÷138 mbar, sai số 0,05%, độ tuyến tính $R^2 > 0,997$. Thông số đầu ra được bù nhiệt thông qua một biến trở nhiệt độ đặt trong thiết bị, sau đó được hiển thị trên màn hình LCD cũng như lưu lại trong bộ nhớ ROM của thiết bị, đồng thời có thể truyền lên máy tính qua giao tiếp RS232. Hoạt động của thiết bị trong thực tế đã được kiểm chứng thông qua việc theo dõi BOD của mẫu thực trong 20 ngày và so sánh với kết quả thu được từ thiết bị đo BOD thương mại của HACH. Đây là một giải pháp vừa cho phép đo giá trị BOD trong thời gian dài, vừa có giá thành thấp, có tiềm năng ứng dụng rộng rãi trong điều kiện Việt Nam.

Từ khóa: đặc tính nước thải, đo áp suất, nhu cầu oxy sinh hóa, phân hủy sinh học, phân tích môi trường.

Chỉ số phân loại: 2.7

Đặt vấn đề

Việt Nam là quốc gia đi lên từ nông nghiệp với thế mạnh về các ngành chăn nuôi gia súc, gia cầm và nuôi trồng thủy, hải sản. Đây là điều kiện thuận lợi cho sự phát triển của ngành công nghiệp chế biến thực phẩm. Mặc dù vậy, việc quản lý và xử lý lượng nước thải ngày một tăng từ các ngành này đang là vấn đề nhận được nhiều sự quan tâm từ các nhà quản lý cũng như các nhà khoa học.

Ngày nay, xu hướng xử lý nước thải bằng việc sử dụng các công nghệ xanh, bao gồm các quá trình sinh học phân hủy hiếu khí và phân hủy kỵ khí, đang được các nhà môi trường chú ý đặc biệt. Để lựa chọn công nghệ xử lý phù hợp, việc xác định đặc tính của chất thải đóng vai trò rất quan trọng. BOD là một trong những đặc tính nổi bật để đánh giá chất lượng nước và mức độ ô nhiễm của nguồn nước.

Nhiều công nghệ xử lý nước thải hiện đại được phát triển để tăng cường hiệu quả xử lý, không chỉ cho các hợp chất của cacbon (C) mà cho cả các hợp chất chứa nitơ (N) và photpho (P). Hầu hết các công nghệ hiện đại đều đòi

hỏi các mô hình toán học nhằm mô phỏng, vận hành và tối ưu quá trình xử lý. Đối với quá trình phân hủy hiếu khí, các mô hình toán học dựa trên mô hình bùn hoạt tính hiếu khí (ASM) được đề xuất bởi Hiệp hội Nước quốc tế (IWA) đang được phát triển và ứng dụng rộng rãi. Trong các mô hình này, bên cạnh các thông số thường gặp còn có sự xuất hiện của các biến số mới khó xác định như axit béo bay hơi (VFA), phân chất nền phân hủy nhanh, chậm hay không phân hủy... Trong thời gian gần đây, đã có một số nghiên cứu phát triển mô hình toán học dựa trên các mô hình ASM, mà cụ thể là ASM3, kết hợp với các dữ liệu về BOD và pH, qua đó xác định được các thông số nêu trên. Yêu cầu đặt ra đối với các mô hình này là cần có các thông tin về BOD và pH trong mẫu với tần suất cao (có thể tới 5 phút/lần) và trong thời gian dài (khoảng 20 ngày) để hiệu chỉnh mô hình.

Các phương pháp truyền thống để xác định BOD được thực hiện thông qua phép đo hàm lượng oxy hòa tan trong nước (DO) bằng cách chuẩn độ iot (phép chuẩn độ Winkler) hoặc sử dụng điện cực đo DO (điện cực điện hóa hoặc điện cực quang học) [1, 2]. Tuy nhiên, các phương pháp này

Tác giả liên hệ: Email: vietph@vnu.edu.vn

Development of the manometric principle based device for wastewater characterisation through continuous monitoring of BOD in a long term

Thi Trang Truong¹, Anh Tuan Do²,
Thanh Dam Nguyen¹, Hung Viet Pham^{1*}

¹Key Laboratory of Analytical Technology for Environmental Quality and Food Safety Control,

University of Science, Vietnam National University, Hanoi

²Department of Automation Technology,

Institute of Information Technology,

Vietnam Academy of Science and Technology

Received 17 October 2018; accepted 22 November 2018

Abstract:

Biochemical Oxygen Demand (BOD) is one of the important parameters in environmental analysis allowing to estimate the organic pollution level which is biodegradable in the aerobic condition. Although the determination of BOD for long-term (about 20 days) at a high frequency (up to 5 mins/1 sampling time) can provide more useful information about wastewater characteristics, the available commercial BOD devices have not yet met the above target. Through this research, a novel BOD device based on the manometric principle has been successfully developed, and it can help to continuously monitor the BOD of wastewaters in more than 20 days. This device can be operated using a relative piezoresistive pressure sensor with the range of 0 to 138 mbar, the accuracy of 0.05%, and the linearity $R^2 > 0.997$. The output parameters are thermally compensated by a temperature sensor installed inside the device and then displayed on LCD, stored in ROM and transferred to the hyphenated computer over a serial communication interface RS232. The performance of the device is evaluated through the comparison with that of a commercial device of HACH company. This solution not only allows to follow the fluctuation of BOD in a long time but also has a low cost and exhibits high potentials for wide application in Vietnam.

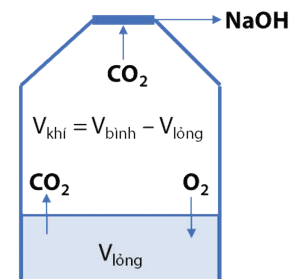
Keywords: biochemical oxygen demand, biodegradable, environmental analysis, manometric, wastewater characteristics.

Classification numbers: 2.7

không thích hợp để theo dõi BOD trong thời gian dài vì hoạt động của điện cực tiêu tốn một lượng nhỏ oxy và sẽ gây sai số nếu đo với tần suất cao.

Trong thời gian gần đây, phương pháp đo BOD dựa trên nguyên lý đo áp suất (hình 1) được áp dụng phổ biến do sự đơn giản về thiết bị và cách thức vận hành [3]. Ưu điểm của phương pháp này là có thể theo dõi BOD một cách thuận tiện trong một thời gian tương đối dài (5-10 ngày). Cơ sở của phương pháp dựa vào áp suất là sự cân bằng oxy giữa hai pha khí và lỏng trong hệ. Khí CO_2 sinh ra được hấp thụ bởi kiềm rắn (thường dùng NaOH hoặc KOH). Khi đó, áp suất pha khí giảm xuống do sự tiêu thụ oxy. Sự thay đổi này được theo dõi bởi một cảm biến đo áp suất và được chuyển thành lượng oxy tiêu thụ, từ đó xác định được giá trị BOD theo công thức:

$$\text{BOD (mg-O}_2\text{/l)} = \frac{\Delta m_{\text{O}_2}}{V_L} = 32000 \cdot \frac{\Delta P}{RT} \cdot \frac{V_B - V_L}{V_L}$$



Hình 1. Sơ đồ minh họa hoạt động của một thiết bị đo BOD theo nguyên tắc đo áp suất.

Trên thị trường đã có một số thiết bị thương mại đo BOD theo nguyên lý đo áp suất như các thiết bị Oxytop của WTW, BOD Track của HACH... Tuy nhiên, điểm chung của các thiết bị này là không thể hoạt động liên tục trong thời gian dài với tần suất lấy mẫu lớn. Thiết bị Oxytop chỉ có thể lưu trữ giá trị BOD trong 5 ngày đầu và phải truy xuất dữ liệu bằng tay. Thiết bị BOD Track có thể kết nối với máy tính để lấy dữ liệu nhưng thời gian cho một lần đo không quá 10 ngày và tần suất lấy mẫu 20 phút/lần. Thực tế này đặt ra nhu cầu phát triển một thiết bị có khả năng theo dõi liên tục BOD (dựa trên phương pháp đo áp suất) trong thời gian dài với tần suất cao.

Thiết bị được phát triển trong nghiên cứu này sẽ là bước mở đầu cho việc phát triển thiết bị đo có khả năng đo đồng thời BOD và pH để cung cấp các giá trị cho hiệu chỉnh mô hình toán học nhằm thu được nhiều thông tin hữu ích về đặc tính của nguồn thải. Ngoài ra, thiết bị đo BOD này có thể thay thế được các thiết bị thương mại hiện nay trong việc xác định BOD. Việc tự chủ trong chế tạo từ phần cứng tới phần mềm có thể giúp tăng tính tiện dụng của thiết bị và có giá thành thấp hơn các sản phẩm thương mại. Giá thành ước

tính của 1 thiết bị đo BOD tự chế tạo khoảng 200 USD/thiết bị (1 bình đo), trong khi đó giá của 1 thiết bị Oxytop của WTW (Đức) là 300 USD và giá của một thiết bị BOD Trak II của HACH khoảng 2700 USD/6 bình đo.

Vật liệu và phương pháp nghiên cứu

Hóa chất và dụng cụ

Hóa chất: chất chuẩn NaOH (Merk, Đức) để hấp thụ khí CO₂ trong các thử nghiệm đo BOD.

Linh kiện điện tử: vi điều khiển (STMicroelectronics, Mỹ), các cảm biến đo áp suất (TE connectivity, Thụy Sĩ) và nhiệt độ (Sensirion AG, Thụy Sĩ); màn hình hiển thị LCD 8x2 ký tự (Newhaven Display Intl, Mỹ); bộ nhớ lưu trữ ROM 64KB (Adesto Technologies, Mỹ); cổng kết nối RS232; bộ cấp nguồn 12 VDC (bảng 1).

Dụng cụ: thiết bị đo BOD Trak II (HACH, Hoa Kỳ), thiết bị hiệu chỉnh áp suất (tại Viện Đo lường Việt Nam).

Mẫu nước thải được sử dụng trong thí nghiệm để kiểm tra đối chứng giữa thiết bị đo BOD tự chế tạo với thiết bị thương mại là nước thải được thu thập đầu ra từ trang trại chăn nuôi lợn tại huyện Gia Lâm - Hà Nội.

Bảng 1. Các linh kiện được sử dụng để phát triển thiết bị đo BOD.

Tên linh kiện	Model	Nhà sản xuất	Thông số
Vi điều khiển	STM32F030R8T6	STMicroelectronics	Nguồn cấp 1,8-3,6 V; bộ xử lý 16 bit; 28 chân với 24 GPIO; 8 cổng vào tương tự 10 bit; giao tiếp I2C, UART, SPI; nạp chương trình trực tiếp
Cảm biến đo áp suất	13A-002G	TE connectivity	Nguồn cấp 0-75 mV; dòng ra 1,5-2 mA; đo kiểu áp trở 0-138 mbar; sai số 0,05%
Cảm biến đo nhiệt độ	STS21	Sensirion AG	Nguồn cấp: 2,7-3,3 V; dải đo 0-50°C; sai số 0,1°C; kết nối I2C
ROM	RM24C64C-LSNI-B	Adesto Technologies	Nguồn cấp: 1,65-3,6 V; dung lượng: 64 KB; kết nối I2C
LCD	NHD-0208BZ-RN-GBW	Newhaven Display Intl	Nguồn cấp 4,7-5,5 V; kích thước 8x2 ký tự

Phát triển thiết bị

Quy trình phát triển thiết bị được thể hiện ở hình 2, bao gồm xác định tính năng và lựa chọn linh kiện, thiết kế các mạch điện tử và lắp ráp thiết bị, cuối cùng là hiệu chỉnh thiết bị trước khi áp dụng trong thực tế. Việc thiết kế mạch nguyên lý của các thành phần trong thiết bị được thiết kế trên phần mềm OrCAD. Mạch in PCB để kết nối các linh kiện được thiết kế bằng phần mềm PADS2015. Sau khi lắp ráp, thiết bị được hiệu chỉnh bằng cách đo tín hiệu của các giá trị chuẩn về áp suất, thành lập đường chuẩn và nạp vào vi điều khiển. Việc hiệu chỉnh áp suất này được thực hiện tại Viện Đo lường Việt Nam.



Hình 2. Quy trình phát triển thiết bị đo BOD theo nguyên lý đo áp suất.

Xây dựng phần mềm ghi dữ liệu

Thiết bị đo BOD tự chế tạo được phát triển với mục tiêu theo dõi liên tục BOD với tần suất lớn trong thời gian dài. Điều này tạo ra số lượng dữ liệu khá lớn. Để thuận tiện trong quá trình sử dụng, một phần mềm ghi dữ liệu đã được xây dựng nhằm ghi lại các dữ liệu thu được một cách tự động. Phần mềm được phát triển dựa trên ngôn ngữ C# bằng phần mềm Microsoft Visual Studio 2017.

Kiểm tra hoạt động của thiết bị trong thực tế

Để khẳng định hoạt động của thiết bị trong thực tế, các mẫu nước thải được tiến hành đo BOD đồng thời bằng thiết bị đo BOD tự chế tạo và thiết bị đo BOD Trak II của HACH. Trong thí nghiệm 1, mẫu được pha loãng 20 lần (BOD sau khi pha loãng trong khoảng 0-400 mg/l) bằng nước deion. Trong thí nghiệm 2, mẫu được pha loãng 10 lần. Thể tích mẫu trên thiết bị đo BOD tự chế tạo là 97 ml và ở thiết bị BOD Trak II là 95 ml (theo khuyến nghị của nhà sản xuất). Trong cả hai thí nghiệm, BOD được theo dõi liên tục trong 20 ngày, giá trị BOD được ghi lại với tần suất 20 phút/lần. Lượng NaOH sử dụng để hấp thụ CO₂ trong cả hai thiết bị ở hai lần thí nghiệm là giống nhau (0,58 gam). Các kết quả thu được được xử lý bằng Microsoft Excel.

Kết quả và thảo luận

Kết quả phát triển thiết bị

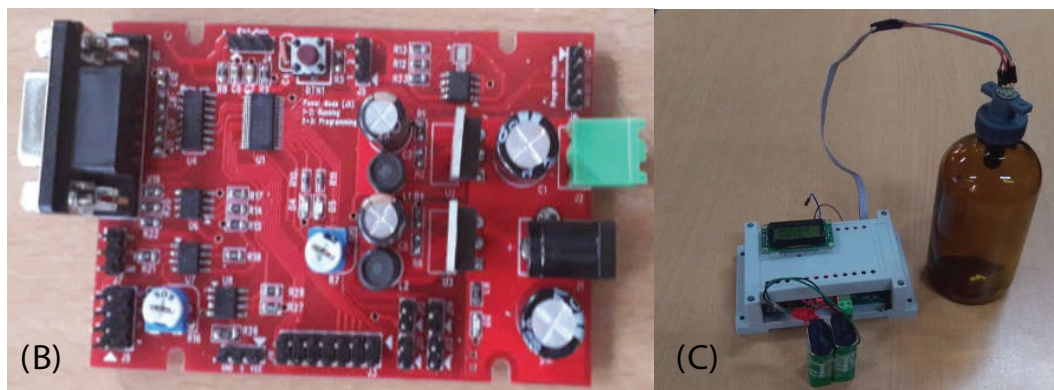
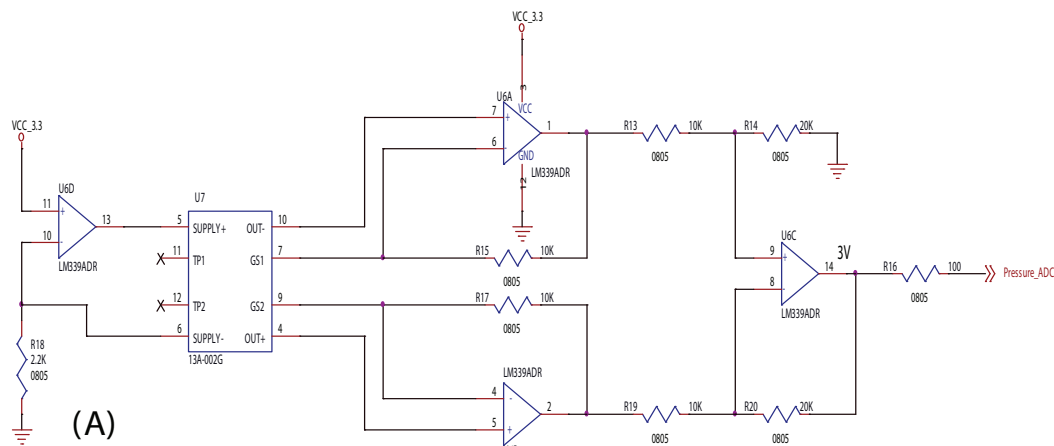
Lựa chọn linh kiện: bộ phận quan trọng nhất trong thiết bị là cảm biến đo áp suất. Để đảm bảo thiết bị có thể cung cấp đủ oxy cho vi sinh vật khi hoạt động, lượng oxy tiêu thụ không nên vượt quá 50% lượng oxy có trong bình, tức là khoảng làm việc của cảm biến nằm trong khoảng 0-105 mbar với sai số dưới 1% trên toàn khoảng. Bên cạnh đó, để thuận tiện trong việc tính toán và xử lý số liệu, cảm biến đo áp suất tương đối so với áp suất khí quyển. Mặt khác, giá trị áp suất đo được phụ thuộc nhiều vào nhiệt độ, ngoài việc tiến hành thí nghiệm trong các tủ ủ ổn nhiệt, việc tích hợp cảm biến đo nhiệt độ là cần thiết để có thể loại bỏ tác động của nhiệt độ đến phép đo. Cảm biến nhiệt độ sẽ được gắn bên trong bình thí nghiệm để đo nhiệt độ hiện thời của môi trường thí nghiệm, với khoảng làm việc 10-30°C. Các kết quả đo được trên thiết bị được lưu trữ trên bộ nhớ ROM

và có thể truy xuất qua màn hình hiển thị LCD hoặc truyền tải tới máy tính thông qua giao tiếp RS232. Bộ nhớ ROM cần có dung lượng đủ lớn để có thể lưu trữ các thông số đo được trong thời gian dài (khoảng 3 tuần) với tần suất lấy mẫu lớn (có thể tới 5 phút/lần). Toàn bộ các hoạt động của các thành phần trên được điều khiển thông qua một vi điều khiển. Vi điều khiển này cần có bộ xử lý tối thiểu 16 bit và 21 pin I/O để kết nối các thiết bị ngoại vi cũng như cần tích hợp bộ chuyển đổi ADC và các cổng giao tiếp URAT, I2C. Hệ thiết bị được cung cấp năng lượng bởi nguồn 12 VDC bởi có thể dễ dàng biến đổi nguồn này về 3,3 V hoặc 5 V (là các điện áp đầu vào thường gặp của các linh kiện trên). Việc lựa chọn linh kiện được tiến hành dựa trên các tính năng yêu cầu nêu trên, trong đó có chú ý tới việc cân bằng giữa hiệu quả và giá thành.

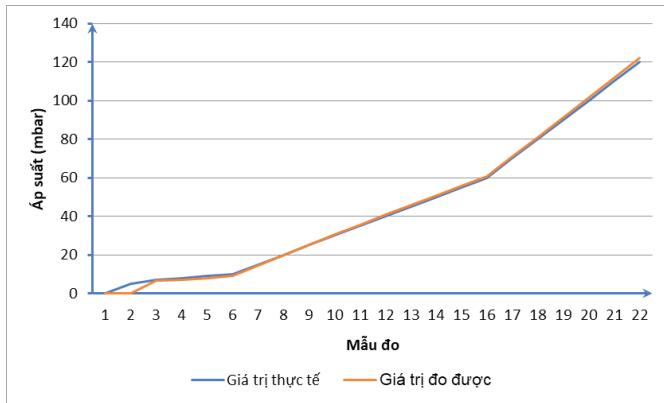
Thiết kế mạch điện tử: các mạch nguyên lý cho các thành phần trong thiết bị được thiết kế bằng phần mềm OrCAD, bao gồm phần nguồn nuôi, vị trí kết nối linh kiện, mạch khuếch đại thuật toán (nếu cần) và vị trí kết nối với vi điều

khiển. Mạch PCB được thiết kế trên PADS2015 với yêu cầu đảm bảo các linh kiện được bố trí hài hòa, đảm bảo các tín hiệu kết nối không bị chồng chéo, chống nhiễu giữa các phần với nhau. Mạch nguyên lý của cảm biến đo áp suất, mạch in PCB sau khi ghép nối linh kiện và hình ảnh thiết bị sau khi hoàn thiện được thể hiện ở hình 3.

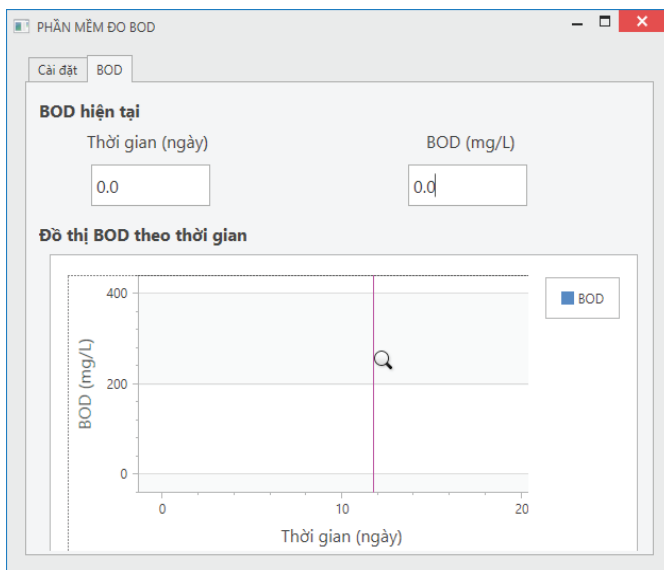
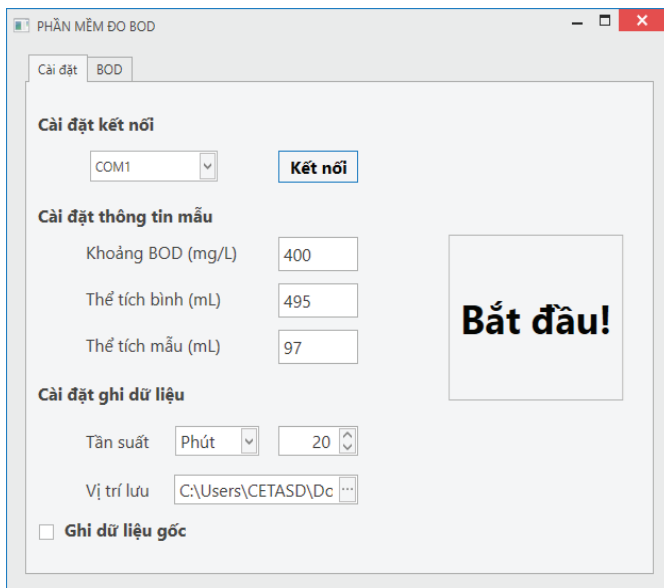
Hiệu chỉnh thiết bị: sau khi hoàn thiện, thiết bị được hiệu chỉnh bằng cách thiết lập phương trình tuyến tính giữa tín hiệu đo và áp suất. Kết quả cho thấy, có sự tương quan tuyến tính tốt giữa tín hiệu thu được trên cảm biến với áp suất khi hệ số tương quan của đường chuẩn đạt 0,9975. Sau khi thu được đường chuẩn liên hệ giữa áp suất và tín hiệu, tiến hành đo thử nghiệm các áp suất trong thực tế. Kết quả thu được trên hình 4 cho thấy sự phù hợp tốt giữa giá trị đo được từ thiết bị và giá trị áp suất thực tế, đặc biệt trong khoảng từ 20-120 mbar, sự sai khác chỉ khoảng 1%. Điều này một lần nữa cho thấy sự ổn định của thiết bị và phù hợp cho mục tiêu theo dõi BOD bằng phương pháp đo áp suất.



Hình 3. Hình ảnh về thiết bị đo BOD theo nguyên lý đo áp suất. (A) Mạch nguyên lý cấp nguồn và khuếch đại tín hiệu của cảm biến đo áp suất; (B) Mạch in sau khi kết nối các thành phần điện tử; (C) Thiết bị thực tế sau khi hoàn thiện.



Hình 4. Kết quả đối chứng giữa áp suất thu được từ cảm biến và áp suất thực tế.



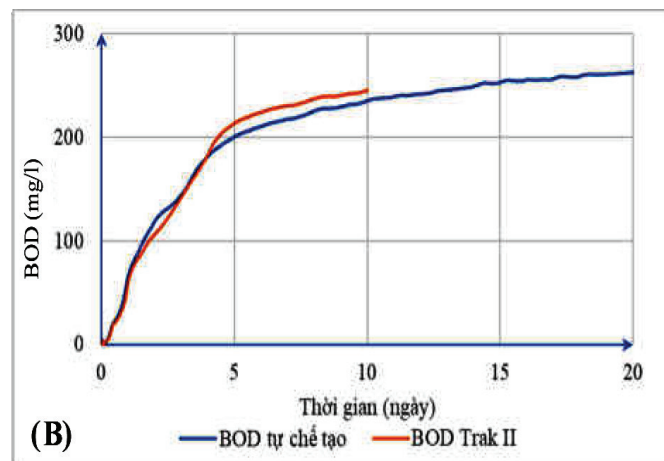
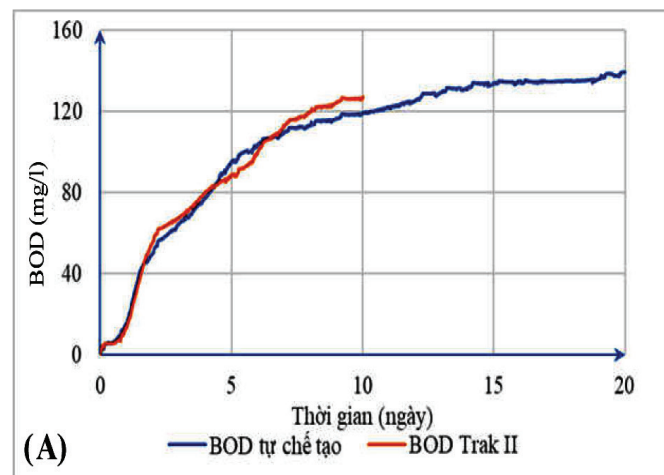
Hình 5. Giao diện phần mềm đo BOD.

Kết quả xây dựng phần mềm

Phần mềm đo BOD được xây dựng dựa trên ngôn ngữ C#, tương thích với các hệ điều hành Windows phiên bản từ XP trở lên. Tính năng chính của phần mềm là đọc dữ liệu từ thiết bị và lưu lại dưới dạng file text một cách tự động để tiện truy cập. Người dùng cung cấp các thông tin về công kết nối, vị trí lưu file kết quả, thể tích bình phản ứng và thể tích dung dịch mẫu (để tính toán BOD từ áp suất đo được), tần suất lấy mẫu (từ 5 phút tới 1 ngày/lần). Phần mềm sẽ trả về kết quả là thời gian đo mẫu và giá trị BOD hiện tại. Hình 5 thể hiện giao diện hoạt động của phần mềm đã phát triển.

Kết quả thử nghiệm thiết bị thực tế

Sau khi hiệu chỉnh thiết bị và xây dựng phần mềm đo dữ liệu, thiết bị được ứng dụng để theo dõi liên tục BOD của mẫu nước thải từ trang trại chăn nuôi lợn. Kết quả thu được trên thiết bị BOD tự chế tạo và thiết bị BOD Trak II của HACH được thể hiện trên hình 6.



Hình 6. Kết quả so sánh giữa thiết bị BOD tự chế tạo và thiết bị BOD Trak II của HACH. (A) Kết quả từ thí nghiệm 1; (B) Kết quả từ thí nghiệm 2.

Có thể nhận thấy rằng, trong cả hai lần thí nghiệm, giá trị BOD thu được giữa hai thiết bị gần như tương đồng trong khoảng thời gian 10 ngày đầu tiên (là thời gian đo lớn nhất trên thiết bị BOD Trak II của HACH), với sai số không vượt quá 10% trong thời gian ngày thứ 2 đến ngày thứ 10. Với ngày đầu tiên trong hai thử nghiệm, kết quả thu được từ hai thiết bị có sự sai khác lớn hơn do giá trị BOD lúc này khá nhỏ (dưới 15 mg/l trên cả hai thiết bị). Bên cạnh đó, ở cả hai thiết bị, giá trị BOD trong hai lần thí nghiệm vẫn tiếp tục tăng khá nhanh sau ngày thứ 5, điều này cho thấy giá trị BOD₅ có thể chưa phản ánh đầy đủ quá trình oxy hóa hợp chất hữu cơ trong hệ bởi vi sinh vật. Ở thử nghiệm 1, giá trị BOD₅ tương đương với khoảng 68% BOD₂₀ (được coi như BOD_∞), trong khi ở thí nghiệm 2 giá trị này là 76%. Sau ngày thứ 12, giá trị BOD trở nên ít thay đổi và đường cong BOD thu được gần tới đường tiệm cận (BOD₁₂=90% BOD₂₀ trong thí nghiệm 1 và 92% trong thí nghiệm 2). Các kết quả trên cho thấy khả năng hoạt động hiệu quả và đáng tin cậy trong thời gian dài với tần suất liên tục của thiết bị BOD tự chế tạo.

Kết luận

Trong nghiên cứu này, thiết bị BOD có khả năng hoạt động liên tục trong thời gian dài dựa trên nguyên lý đo áp suất đã được chế tạo thành công. Quy trình chế tạo bao gồm các bước xác định tính năng và lựa chọn linh kiện, thiết kế mạch điện tử và lắp ráp, hiệu chỉnh và kiểm thử. Song song với đó, phần mềm ghi nhận dữ liệu cũng đã được xây dựng dựa trên ngôn ngữ C#. Quá trình kiểm tra hoạt động trong

thực tế bằng cách đo đối chứng nước thải từ trang trại chăn nuôi lợn với thiết bị thương mại BOD Trak II của HACH cho thấy, thiết bị đã chế tạo có độ ổn định và độ tin cậy tốt, đáp ứng được yêu cầu theo dõi BOD liên tục trong thời gian dài (20 ngày). Thiết bị sẽ được tiếp tục phát triển nhằm hoàn thiện về thiết kế cũng như tính năng, bao gồm việc tích hợp cảm biến đo pH, thu gọn thiết bị, đồng thời phần mềm đo BOD cũng sẽ được nâng cấp để có giao diện thân thiện hơn và có thể biểu diễn trực tiếp về BOD và pH.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ về tài chính của Đại học Quốc gia Hà Nội (đề tài NCKH mã số QG17.18) và Cơ quan Ngoại giao vùng Wallonie-Bruxelles (Bi) (dự án mã số 15). Các tác giả cũng trân trọng cảm ơn sự trợ giúp của Viện Đo lường (VMI) thuộc Tổng cục Tiêu chuẩn Đo lường Chất lượng (Bộ Khoa học và Công nghệ) trong việc hiệu chỉnh thiết bị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 6002-1:2008, *Chất lượng nước - Xác định BOD sau n ngày (BOD_n) - Phần 1: Phương pháp pha loãng và cấy có bổ sung allylthiourea.*
- [2] TCVN 6002-1:2008, *Chất lượng nước - Xác định BOD sau n ngày (BOD_n) - Phần 2: Phương pháp dùng cho mẫu không pha loãng.*
- [3] Nguyễn Thanh Đàm, Trương Thị Trang, Dương Hồng Anh, Phạm Hùng Việt (2017), *Tổng quan về các phương pháp đánh giá BOD*, Kỷ yếu Hội thảo khoa học quốc tế phát triển năng lực sư phạm đội ngũ giáo viên khoa học tự nhiên đáp ứng yêu cầu đổi mới giáo dục phổ thông, Nhà Xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, tr.677-684.