

NGHIÊN CỨU CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐO GIÁM SÁT CÁC THÔNG SỐ NƯỚC THẢI TỪ XA ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IoT

RESEARCH EQUIPMENT TO MEASURE AND MONITOR WASTEWATER PARAMETERS REMOTELY USING IoT TECHNOLOGY

VŨ XUÂN HẬU*, VŨ VĂN MỪNG, VŨ ĐỨC ANH
Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
*Email liên hệ: hauvx@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Bài báo nghiên cứu chế tạo thiết bị đo và giám sát các thông số nước thải từ xa ứng dụng công nghệ vi xử lý và IoT (Internet of Things) áp dụng cho các nhà máy, khu công nghiệp, trên tàu thủy. Thiết bị được chế tạo có khả năng đo và giám sát từ xa hai thông số quan trọng của nước thải là độ pH (potential of hydrogen) và độ đục TDS (Total Dissolved Solids) dựa vào việc tính toán xử lý tín hiệu đo từ hai cảm biến đo pH và TDS. Thiết bị được chế tạo có chức năng hiển thị hai thông số đo nước thải pH và TDS trực tiếp trên màn hình LCD 2.8 inches (Liquid Crystal Display) và đồng thời dữ liệu hai thông số được đóng gói theo giao thức HTTP (HyperText Transfer Protocol) truyền tới máy chủ Server để thực hiện chức năng đo lường và giám sát từ xa qua mạng internet. Thiết bị nhỏ gọn nên có thể trang bị để quan trắc di động các thông số nước thải cho các nhà máy, khu công nghiệp và trên tàu thủy. Một số kết quả thực nghiệm cũng được đề cập trong bài báo.

Từ khóa: Công nghệ IoT, cảm biến đo pH, cảm biến đo TDS, Bộ lọc Kalman, vi điều khiển, Web Server, giao thức HTTP, mạng internet.

Abstract

The article researches equipment to measure and monitor wastewater parameters remotely, applying microprocessor technology and IoT to factories, industrial parks, and ships. The device is built with the ability to remotely measure and monitor two important parameters of wastewater, namely pH and turbidity TDS, based on the calculation and processing of measured signals from two pH and TDS measuring sensors. The device is built with the function of displaying two parameters of wastewater measurement, pH and TDS directly on the 2.8 inch LCD screen and at the same time, the data of the two parameters is encapsulated by the HTTP protocol transmitted to

the host computer server to perform remote measurement and monitoring functions over the internet. The device is compact, so it can be equipped for mobile monitoring of wastewater parameters for factories, industrial parks and ships. Some experimental results are also mentioned in the paper.

Keywords: IoT Technology, pH Sensor, TDS Sensor, Kalman Filter, Microcontroller, Web Server, HTTP Protocol, Internet Network.

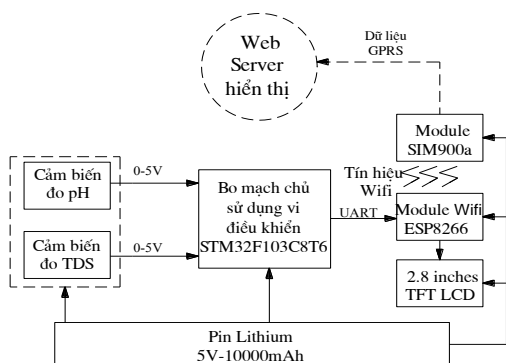
1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, Việt Nam đang được các nhà đầu tư nước ngoài xây dựng rất nhiều các khu công nghiệp, và hiện tại đội tàu biển của Việt Nam là tương đối nhiều (1516 tàu tính đến tháng 12/2020) [1]. Trong quá trình các nhà máy, khu công nghiệp, tàu thủy hoạt động, vận hành thì luôn phải xả thải ra môi trường một lượng nước thải rất lớn, nếu không có biện pháp đo lường giám sát và xử lý nguồn nước trước khi xả thải đó sẽ gây ra hiện tượng ô nhiễm môi trường nước và đất nghiêm trọng ảnh hưởng trực tiếp đến chất lượng sống của con người. Hệ quả của vấn đề ô nhiễm môi trường do nước thải gây ra đó đã đề ra một nhiệm vụ cần giải quyết là đo lường, giám sát và xử lý ô nhiễm môi trường, nhiệm vụ này không chỉ áp dụng ở Việt Nam mà còn trên toàn thế giới. Theo Thông tư số 08/2009/TT-BTNMT của Bộ Tài nguyên & Môi trường đã ban hành, tất cả các khu kinh tế, khu công nghệ cao, khu công nghiệp và cụm công nghiệp và Nhà máy nằm ngoài khu công nghiệp xả thải trực tiếp ra môi trường (có công suất xả thải trên 1,000m³/ngày đêm) phải “Lắp đặt Hệ thống quan trắc nước thải tự động, liên tục” [2].

Cho đến thời điểm hiện tại cũng đã có rất nhiều hệ thống, thiết bị quan trắc nước thải theo công nghệ IoT của các hãng sản xuất trên thế giới đã có mặt trên thị trường với công nghệ sản xuất được bảo mật, điều này dẫn tới giá thành hệ thống thiết bị của các hãng đưa ra là cao và bên mua phải phụ thuộc vào công nghệ sản xuất của các hãng sản xuất đó. Ở Việt Nam hiện tại

cũng đã có nhiều công ty đã thực hiện việc nghiên cứu sản xuất thiết bị đo các thông số nước thải, ví dụ như thiết bị đo pH TP-0161 của Công ty TNHH Hóa chất Thịnh Phát. Ưu điểm thiết bị đo pH TP-0161 là có độ sai số thấp, hoạt động tin cậy nhưng nhược điểm của thiết bị là chỉ dừng lại ở việc đo duy nhất thông số pH, chưa có khả năng kết nối với nhiều cảm biến để có thể tích hợp đo thêm nhiều các thông số cho thiết bị. Chính vì các lý do như trên, với mục tiêu chế tạo một thiết bị quan trắc nước thải theo công nghệ IoT với linh kiện phổ biến, giá thành hạ và có khả năng tích hợp đo nhiều cảm biến nước thải, sử dụng đơn giản đã được nhóm tác giả nghiên cứu. Nguyên tắc đo lường, giám sát nguồn nước thải của các nhà máy, khu công nghiệp là phải đo rất nhiều thông số khác nhau nhưng ở thiết bị được nghiên cứu sẽ sử dụng hai cảm biến đo thông số nước thải điển hình là pH và TDS. Việc kết nối, tính toán, xử lý tín hiệu từ nhiều cảm biến nước thải khác ghép nối với thiết bị này cũng tương tự như hai cảm biến pH và TDS. Bằng cách thu thập dữ liệu và tính toán giá trị thực 2 thông số pH và TDS từ nguồn nước thải, hai thông số này được hiển thị trực tiếp trên màn hình LCD 2.8 inches của thiết bị và đồng thời cũng liên tục được gửi lên web server thông qua hai module wifi ESP8266 và Simcom900a bên trong thiết bị nhằm mục đích giám sát được các thông số nước thải từ xa qua mạng internet. Người kiểm tra theo dõi có thể truy cập vào server bằng các trình duyệt web trên máy tính, điện thoại hoặc các thiết bị có kết nối mạng internet [3-5]. Server kết nối với thiết bị được thiết kế sử dụng cơ sở dữ liệu (Database) nhằm mục đích lưu trữ các thông số nước thải theo chu kỳ để thuận tiện việc theo dõi lịch sử hai thông số pH và TDS.

Bài báo gồm 4 phần. Phần 1 là giới thiệu chung. Phần 2 trình bày thiết kế phần cứng thiết bị đo và phương pháp tính toán xác định 2 thông số pH và TDS dựa trên việc xử lý các tín hiệu từ 2 cảm biến. Phần 3 đưa ra một số thử nghiệm đối với thiết bị.



Hình 1. Cấu trúc của thiết bị đo và giám sát

Phần 4 là một số kết luận.

2. Thiết kế phần cứng cho thiết bị

2.1. Cấu trúc của thiết bị đo, giám sát

Thiết bị đo bao gồm các cảm biến và khối xử lý, khối nguồn điện (Pin Lithium), khối hiển thị LCD và các module giao tiếp mạng internet. Sơ đồ cấu trúc thiết bị đo thể hiện như Hình 1.

2.2. Các thành phần thiết bị

Hiện tại trên thị trường có rất nhiều loại cảm biến đo thông số pH nước thải trên thị trường như HI6100410 của hãng sản xuất Hanna (Rumani), cảm biến PH-X-420-I 4-20MA của hãng sản xuất ECOSENSE (Đức). Ưu điểm của các loại cảm biến này là có độ chính xác rất cao, rất phù hợp với các dự án quy mô lớn, nhưng nhược điểm là giá thành rất cao, khó tiếp cận trang bị. Chính vì vậy trong nghiên cứu sử dụng cảm biến đo thông số pH nước thải của hãng DFROBOT có dạng như Hình 2. Cảm biến đo pH của hãng DRFROBOT là cảm biến chuyên nghiệp với công nghệ dạng điện cực được thiết kế theo chuẩn công nghiệp, giá thành vừa phải và mức độ sai số nhỏ, phù hợp với các nghiên cứu nhỏ. Điện cực pH công nghiệp này được làm bằng màng thủy tinh nhạy cảm với trở kháng thấp. Nó có thể được sử dụng trong nhiều phép đo pH với phản ứng nhanh và độ ổn định nhiệt tuyệt vời. Nó có khả năng tái sản xuất tốt, khó thủy phân và có thể loại bỏ lỗi kiểm cơ bản. Trong phạm vi từ 0 đến 14pH, điện áp đầu ra là tuyến tính. Các thông số kỹ thuật của cảm biến được cho trong Bảng 1.

Trong quá trình hoạt động, vi điều khiển thực hiện tính toán giá trị thông số (pH) của nước thải theo công thức [6]:

$$pH = 2 \times \text{Milivolt_output} + 0.7 \quad (1)$$

Trong đó: pH - Là giá trị tham số pH được tính toán dựa trên tín hiệu đầu ra cảm biến; Milivolt_output - Là giá trị điện áp đầu ra của cảm biến, tính theo đơn vị milivolt.



Hình 2. Cảm biến đo thông số pH của hãng DFROBOT

Bảng 1. Thông số kỹ thuật cảm biến đo pH của hãng DFROBOT

Điện áp hoạt động	5V
Dải đo chỉ số pH	0 - 14 pH
Dữ liệu đầu ra	Analog
Nhiệt độ làm việc	0 - 60°C
Độ chính xác	± 0,1pH (25°C)
Thời gian đáp ứng	≤ 1 phút
Nguyên lý công nghệ	Sử dụng điện cực công nghiệp với kết nối chuẩn BNC
Đèn báo	Tích hợp Led chỉ thị nguồn
Kết nối đầu ra	pH2,0 3 chân
Kích thước	43mm * 32mm

Bảng 2. Thông số kỹ thuật cảm biến đo TDS của hãng DFROBOT

Điện áp hoạt động	3,3V - 5V
Tín hiệu đầu ra	Analog 0V – 2,3V tương ứng dải đo TDS: 0 - 1000ppm
Dòng điện làm việc	3mA - 6mA
Độ chính xác	+/-10% FS (ở 25°C)
Đầu đo	chống nước
Kích thước	42mm * 32mm

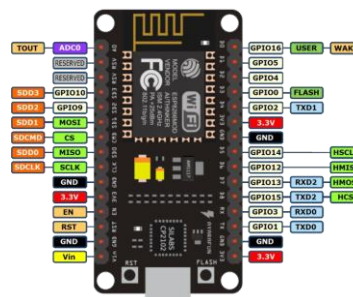
Cảm biến đo thông số TDS nước thải trong nghiên cứu cũng được lựa chọn của hãng DFROBOT vì có giá thành vừa phải và mức độ sai số nhỏ, hình ảnh cảm biến đo TDS của hãng DFROBOT có dạng như Hình 3. Các thông số kỹ thuật của cảm biến đo TDS được cho ở Bảng 2.

Cảm biến đo thông số TDS thực chất là đo độ đục của nước thải tức là đo tổng lượng chất rắn hòa tan trong nước (đơn vị đo là mg/L hoặc ppm). Thông số TDS có liên quan trực tiếp đến độ tinh khiết, chất lượng của nước và ảnh hưởng trực tiếp đến mọi thứ khi sử dụng nước. Thiết bị có sử dụng cảm biến đo TDS của hãng DFROBOT với dạng điện cực giúp đo độ dẫn điện của nước để xác định chỉ số TDS và trả ra giá trị điện áp Analog. Cảm biến đo thông số TDS của thiết bị phụ thuộc vào nhiệt độ thời điểm đo của nước thải. Vi điều khiển tính toán thông số (TDS, đơn vị ppm) của nước thải dựa vào tín hiệu ra của cảm biến (Volt output) và nhiệt độ tại thời điểm đo (T) được tính toán theo các công thức [7]:

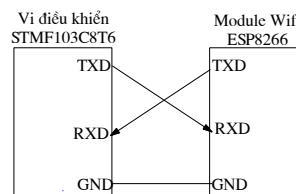
$$K_T = 1 + 0.02 \times (T - 25) \quad (2)$$



Hình 3. Cảm biến đo thông số TDS của hãng DFROBOT



Hình 4. Module wifi ESP8266



Hình 5. Kết nối giữa vi điều khiển với Module Wifi ESP8266

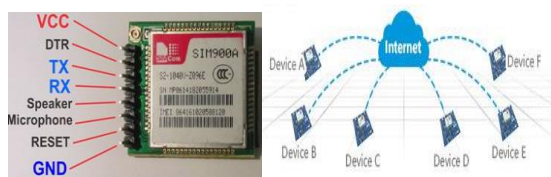
$$U_T = Volt_output / K_T \quad (3)$$

$$TDS = (133.42 \times U_T^3 - 255.86 \times U_T^2 + 857.39 \times U_T) / 2 \quad (4)$$

Trong đó: K_T - Là hệ số tính toán phụ thuộc vào nhiệt độ của nước thải (T) tại thời điểm đo; U_T - Là hệ số liên quan giữa điện áp (Volt output) đầu ra cảm biến theo nhiệt độ; Volt output - Là giá trị điện áp đầu ra của cảm biến TDS, tính theo đơn vị Volt.

Thiết bị được thiết kế sử dụng module ESP8266 để kết nối truyền thông với mạng internet. Hình ảnh và sơ đồ chân của module wifi ESP8266 như Hình 4.

Module ESP8266 cung cấp giải pháp WiFi tích hợp cao đáp ứng nhu cầu của các ứng dụng IoT như chi phí thấp, sử dụng năng lượng hiệu quả, hiệu suất đáng tin cậy và thiết kế nhỏ gọn [8]. Trên thiết bị module được thiết kế sử dụng 2 cổng nối tiếp, cổng UART0 có chức năng nhận gói dữ liệu chứa 2 thông số pH và TDS từ vi điều khiển và cổng UART1 có chức năng giao tiếp với màn hình hiển thị 2 thông số LCD. Sơ đồ kết nối ESP 8266 với vi điều khiển như Hình 5.



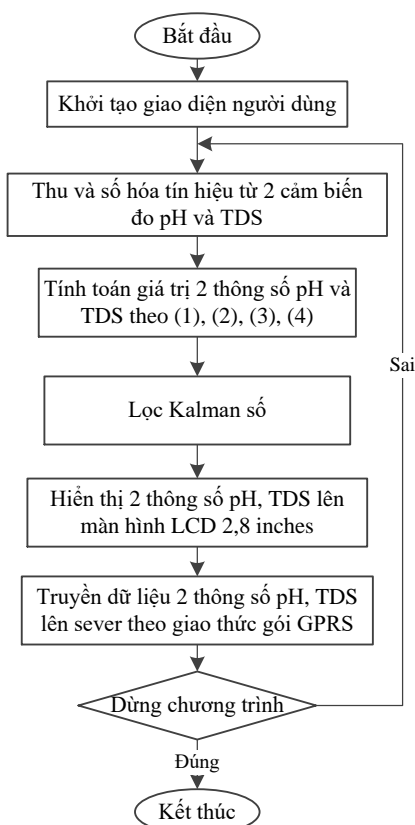
Hình 6. Module SIM900a và mô hình kết nối internet



Hình 7. Màn hình hiển thị TFT LCD 1.8 inches

Thiết bị sử dụng Module GPRS SIM900a mini để tạo mạng 4G và truyền dẫn dữ liệu lên server. Mục đích sử dụng module GPRS SIM90a là khi để thiết bị sử dụng ở bất kỳ chỗ nào cũng đều có khả năng truyền dữ liệu tới mạng internet bằng mạng 4G. Trong quá trình hoạt động module Sim900a mini liên tục thu tín hiệu 2 thông số PH và TDS từ Module wifi ESP8266, sau đó thực hiện đóng gói theo chuẩn GPRS và truyền đến server bằng mạng 4G. Hình ảnh module Module SIM900a mini và mô hình kết nối qua mạng internet được sử dụng như Hình 6.

2.3. Nguyên lý hoạt động của thiết bị



Thiết bị sử dụng 2 cảm biến để đo 2 thông số nước thải là pH và TDS. Mạch điện tử của thiết bị sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6 có nhiệm vụ thu tín hiệu từ 2 cảm biến, tiến hành số hóa và tính toán 2 thông số pH và TDS theo các công thức (1), (2), (3), (4) tiếp theo đưa qua bộ lọc số Kalman loại bỏ nhiễu để đưa ra các giá trị chính xác của từng tham số nước

thải. Độ phân giải bộ biến đổi tương tự số ADC của STM32F103C8T6 là 12 bit vì vậy tín hiệu tương tự từ 2 cảm biến được chuyển đổi sang dạng số có độ chính xác rất cao. Hai thông số pH và TDS sau khi lọc Kalman được truyền đến module wifi ESP8266. Module ESP8266 thực hiện chức năng xử lý dữ liệu và hiển thị 2 thông số pH và TDS tại chỗ lên màn hình LCD 2.8 inches của thiết bị như Hình 7.

Thông số pH và TDS cũng được module ESP8266 truyền dẫn lên web server bằng mạng 4G sử dụng dịch vụ dữ liệu di động dạng gói GPRS bằng giao thức truyền tải siêu văn bản (HTTP: Hypertext Transfer Protocol) thông qua module SIM900a. Giá trị của 2 tham số này được hiển thị trên web server và cập nhật theo chu kỳ 15s một lần. Ở server được thiết kế có sử dụng cơ sở dữ liệu (Database) nhằm mục đích lưu trữ nhật ký quá trình đo 2 thông số của thiết bị, thông qua việc liên tục lưu trữ 2 thông số pH và TDS vào bộ nhớ server theo chu kỳ được cài đặt sẵn. Thiết bị được cung cấp bởi nguồn năng lượng là pin lithium. Thuật toán tính toán, xử lý và hiển thị 2 thông số pH và TDS như Hình 8.

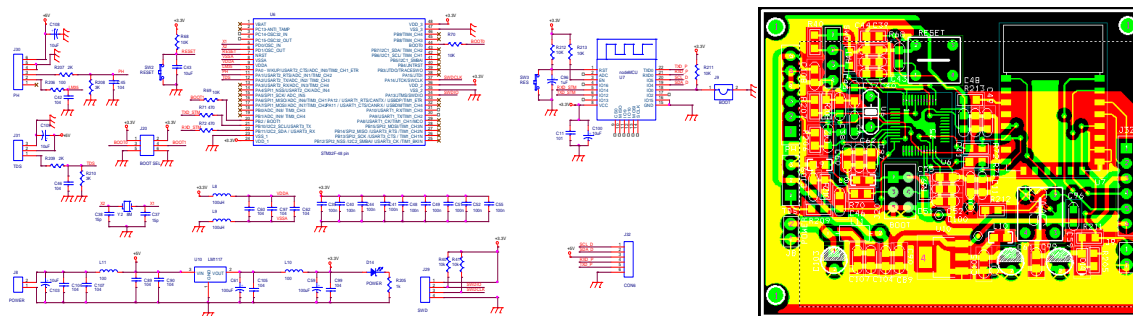
2.4. Kết quả thiết kế chế tạo thiết bị

Sơ đồ nguyên lý và mạch in của thiết bị được thiết kế dựa trên phần mềm Orcad 10.5 có dạng như trên Hình 9, mô hình thiết bị hoàn chỉnh sau thiết kế như Hình 10.

Các thông số kỹ thuật của thiết bị sau hoàn thiện chế tạo và thử nghiệm được cho trong Bảng 3.

Bảng 3. Thông số kỹ thuật của thiết bị

Dải đo chỉ số pH	0 - 14pH
Dải đo chỉ số TDS	0 - 1000ppm
Độ phân giải ADC của thiết bị	12 bit
Sai số đo pH	± 0.5pH
Sai số đo TDS	±2ppm
Chu kỳ truyền dữ liệu lên server	15s
Nguồn điện sử dụng	5VDC±2%
Kích thước	10cm * 20cm
Thời gian sử dụng	5 năm



Hình 9. Sơ đồ mạch nguyên lý và mạch in điều khiển của thiết bị



Hình 10. Mô hình thiết bị đo lường và giám sát thông số nước thải dựa trên công nghệ IoT



Hình 11. Dữ liệu của 2 cảm biến pH và TDS được theo dõi trên web server

3. Kết quả thực nghiệm

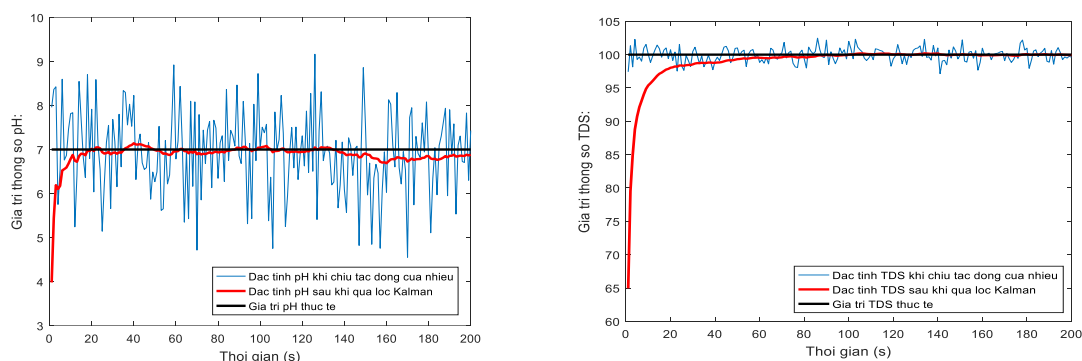
Mô hình thiết bị đo và giám sát 2 thông số nước thải pH và TDS hoàn chỉnh được mô tả như trong Hình 11. Sau quá trình nghiên cứu chúng tôi đã xây dựng được mô hình thiết bị hoàn chỉnh có chức năng đo, hiển thị tại chỗ 2 thông số pH và TDS của nước thải trên thiết bị và đồng thời 2 thông số được cập nhật liên tục gửi lên web server để thực hiện chức năng theo dõi giám sát từ xa. Dữ liệu của 2 cảm biến đo pH và TDS được theo dõi trên web server như Hình 11.

Để kiểm tra độ chính xác trong kết quả đo 2 thông số, kết quả đo thông số pH của thiết bị được so sánh với kết quả đo một thiết bị thương mại là DWA-3000B-pH có độ chính xác $\pm 0,02\text{pH}$ [9], kết quả đo thông số TDS của thiết bị được so sánh giá trị đo với một bút đo TDS thương mại là HM-TDS3 có độ chính xác $\pm 2\%$ [10]. Hai biểu đồ Hình 12 mô tả các đường đặc tính thử nghiệm đo pH và TDS khi áp dụng bộ lọc số Kalman cho thiết bị. Ở hai biểu đồ các đường đặc tính màu xanh biểu thị giá trị đo thu được từ cảm biến khi chưa sử dụng lọc Kalman (chịu tác động nhiễu), các đường đặc tính màu đỏ thể hiện

cho kết quả đo thu được sau khi sử dụng phương pháp lọc Kalman số (Đã lọc và loại bỏ nhiễu), các đường màu đen là các giá trị thông số thực tế (Giá trị đo từ các thiết bị thương mại chuẩn). Căn cứ vào kết quả thực nghiệm trên biểu đồ thấy rằng khi sử dụng phương pháp lọc Kalman số thì kết quả thu được tương đối chính xác (Các đường đặc tính màu đỏ luôn bám sát với đường giá trị thực tế màu đen).

Trong quá trình thử nghiệm nhóm tác giả đã thực hiện 10 lần đo trong 10 ngày ở các thời điểm khác nhau với mục đích đánh giá kết quả đo phụ thuộc vào sự thay đổi nhiệt độ của từng ngày khác nhau. Trong 1 ngày đo các mẫu thử nước được thay đổi thông số 5 lần bằng cách pha chế thêm 1 lượng hóa chất, bột thạch cao vào cốc chứa nước sau từng phép đo nhằm mục đích thay đổi 2 thông số pH và TDS và thực hiện 5 phép đo đối với 5 mẫu nước khác nhau. Trong Bảng 4 và 5 đưa ra kết quả của 7 phép đo của 7 mẫu thử nước thải khác nhau mà ở đó mức độ sai số là lớn nhất trong các ngày đo.

Ở hàng trên trong các bảng là giá trị đo được từ thiết bị thương mại và hàng dưới thể hiện giá trị đo được từ



Hình 12. Đặc tính thực nghiệm đo pH và TDS

Bảng 4. Thực nghiệm so sánh độ chính xác đo pH

	Giá trị đo pH						
	6	7	7,5	8	8,5	10	11
DWA-3000B-pH							
Thiết bị	6,1	6,9	7,5	8,5	8,5	10,1	11,1

Bảng 5. Thực nghiệm so sánh độ chính xác đo TDS

	Giá trị đo TDS(ppm)						
	100	70	200	240	300	350	400
HM-TDS3							
Thiết bị	99.8	69.7	199.7	242	299.8	351	402

thiết bị được nghiên cứu và chế tạo. Căn cứ vào một số kết quả thực nghiệm nhận thấy rằng, thiết bị được chế tạo hoạt động tương đối chính xác so với thiết bị thương mại với sai số lớn nhất là 0.5 đối với phép đo pH. Với phép đo thông số TDS thì qua kết quả thực nghiệm thấy rằng sai số kết quả đo lớn nhất là 2 (ppm). Dải đo thông số TDS là từ 0 đến 1000 (ppm) lên độ sai số lớn nhất của phép đo thông số TDS như vậy coi như là nhỏ so với toàn dải giá trị đo.

4. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc thiết kế, chế tạo thành công một thiết bị đo hai thông số nước thải là pH và TDS tích hợp chức năng giám sát hai thông số theo chế độ thời gian thực qua web server dựa trên công nghệ IoT. Bên cạnh đó trong bài báo cũng đã trình bày phương pháp tính toán xử lý tín hiệu từ hai cảm biến đo pH và TDS, giới thiệu về web server để giám sát từ xa hai thông số của thiết bị, trình bày chi tiết cấu trúc của thiết bị đã chế tạo. Thiết bị do nhóm tác giả chế tạo có ưu điểm là sử dụng đơn giản, nhỏ gọn nên có thể trang bị để quan trắc di động chất lượng nước thải trong các nhà máy, khu công nghiệp, tàu thủy,... Ngoài ra thiết bị còn có khả năng truyền dữ liệu hai thông số pH và TDS lên web server để giám sát từ xa, trên server được thiết kế sử dụng cơ sở dữ liệu

(database) có chức năng như một bộ nhật kí hành trình do có khả năng xác định và lưu trữ các thông số nước thải. Một số kết quả bước đầu của thực nghiệm đã cho thấy được khả năng làm việc của thiết bị là khá tốt. Tuy nhiên để sử dụng rộng rãi cho các nhà máy, khu công nghiệp thì thiết bị cần được phát triển tích hợp đo thêm nhiều hơn nữa các thông số từ các cảm biến nước thải và cần có thêm thời gian thử nghiệm để đánh giá sự ổn định của thiết bị.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.16.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Vũ Thị Minh Ngọc, Lê Quang Linh, *Tác động của FDI đến môi trường tại các tỉnh khu vực phía Bắc*, Tạp chí Quản lý và Kinh tế quốc tế, Số 119 Tháng 01/2020.
 [2] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *quy định quản lý và bảo vệ môi trường khu kinh tế, khu công nghệ cao, khu công nghiệp và cụm công nghiệp*, thông tư số 08/2009/TT-BTNMT, Hà Nội, 2009.
 [3] Fan Wu, Taiyang Wu, Mehmet Rasit Yuce. *An internet-of-things (IoT) network system for*

- connected safety and health monitoring applications*. Sensors, December 2018.
- [4] Sai, G. N. S., Sudheer, R., Manikanta, K. S., Arjula, S. G., Rao, B. N., & Mutyala, D. V. S. M. *IoT based Water Quality Monitoring System*. In 2021 IEEE 9th Region 10 Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), pp.01-06, 2021.
- [5] Ramadhan, A. J. *Smart water-quality monitoring system based on enabled real-time internet of things*. J. Eng. Sci. Technol, Vol.15, pp.3514-3527, 2020.
- [6] <https://nshopvn.com/product/cam-bien-do-do-ph/>. Truy cập ngày 28/12/2021.
- [7] <https://hshop.vn/products/cam-bien-do-tong-chat-ran-hoa-tan-trong-nuoc-water-tds-sensor>. Truy cập ngày 28/12/2021.
- [8] <https://www.elecrow.com/download/ESP-12F.pdf>. Truy cập ngày 28/12/2021.
- [9] http://dyscale.koreasme.com/fsbClient/_ezbdownload.jsp?bm_seq=17457&ba_seq=2&order=1&fname=DWA-3000B-pH.pdf. Truy cập ngày 28/12/2021.
- [10] <https://www.flipkart.com/hm-digital-tds-3-tds-meter/p/itmezbe2bbb8jwjm>. Truy cập ngày 28/12/2021.

Ngày nhận bài:	29/12/2021
Ngày nhận bản sửa:	06/01/2022
Ngày duyệt đăng:	14/01/2022