

# THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ THU MẪU TRỌNG LƯỢNG $PM_{10}$ ; $PM_{2.5}$ (ManPMS) CHO MÔI TRƯỜNG KHÔNG KHÍ XUNG QUANH

DƯƠNG THÀNH NAM, TRẦN THỊ HOA,  
PHAN THỊ HỒNG HẠNH, TRẦN SƠN TÙNG

Trung tâm Nghiên cứu và Chuyển giao công nghệ

NGUYỄN VĂN HUY, NGUYỄN HOÀNG GIANG

Viện Kiểm định công nghệ và môi trường

VƯƠNG THU BẮC

Viện Khoa học và Kỹ thuật hạt nhân

## Tóm tắt:

Để đánh giá mức độ ô nhiễm không khí tại các nơi làm việc hoặc xung quanh môi trường, việc thu mẫu theo kích thước hạt bụi (Particulate Matter - PM) là rất quan trọng. Với mục tiêu này, Trung tâm Nghiên cứu và chuyển giao công nghệ (Cretech) đã phát triển ManPMS - thiết bị thu mẫu trọng lượng theo tiêu chuẩn của US EPA (40-CFR Part 50). Thiết bị này gồm đầu thu mẫu bụi  $PM_{10}$  (VAST-PM10L-1) được thiết kế theo nguyên tắc tác động theo tầng phù hợp để thu gom các hạt bụi có đường kính < 10  $\mu m$  trên cái lọc, với lưu lượng hút 16,67 L/min (tương đương 1  $m^3/h$ ). Chức năng của đầu thu mẫu trên thiết bị là thu gom hạt bụi PM, trích xuất một mẫu sol khí từ khí quyển trong cả điều kiện lặng gió và đồng thời loại bỏ các hạt có kích thước  $\geq 10 \mu m$ . Bộ tách  $PM_{2.5}$  (VAST- $PM_{2.5}$ -WINS) được đặt phía dưới đầu thu mẫu  $PM_{10}$  và cũng được thiết kế theo tiêu chuẩn của EPA, có chức năng như một bộ tách trước các hạt có kích thước lớn hơn hoặc bằng 2,5  $\mu m$ , cũng như loại bỏ các tạp chất như nước và mảnh vụn. Ngoài ra, ManPMS còn bao gồm các thành phần khác như ống xả, bơm hút khí, hệ thống điều khiển lưu lượng dòng khí đi qua cái lọc, thiết bị đo lưu lượng dòng khí, hệ thống giám sát nhiệt độ môi trường và cụm giá đỡ cái lọc, hệ thống đo áp suất khí quyển, bộ hẹn giờ, vỏ hộp đáp ứng quy định của US EPA (40-CFR Part 50).

**Từ khóa:** Thiết bị thu mẫu trọng lượng; thiết bị lấy mẫu bụi; bụi mịn;  $PM_{2.5}$ ;  $PM_{10}$

Nhận bài: 2/3/2023; Sửa chữa: 15/3/2023;

Duyệt đăng: 25/3/2023.

## 1. Đặt vấn đề

$PM_{2.5}$  và  $PM_{10}$  là một trong những thành phần được theo dõi và nghiên cứu rộng rãi nhất trong ô nhiễm không khí. Tại Việt Nam, quan trắc nồng độ PM được thực hiện thông qua mạng lưới các trạm quan trắc tự động và định kỳ (> 1.200 điểm) sử dụng nguyên lý và kỹ thuật đo/thu mẫu khác nhau để phục vụ quản lý môi trường không khí [1]. Tuy nhiên, hầu hết các thiết bị

## Designing and manufacturing ambient air quality gravity sample collection equipment

### Abstract:

Accurate assessment of air pollution levels in workplaces and surrounding environments requires the sampling of particulate matter (PM) by size. To address this need, the Center for Research and Technology Transfer (Cretech) has developed the ManPMS - PM weight sampler device, which adheres to the standards set by the US Environmental Protection Agency (EPA) in 40-CFR Part 50. The device comprises a  $PM_{10}$  dust sampler head (VAST-PM10L-1) designed to capture particles with a diameter < 10  $\mu m$  on a filter by impaction, with a suction flow rate of 16.67 L/min (equivalent to 1  $m^3/h$ ). The sampler head collects PM particles, draws in a gas sample from the ambient air under calm wind conditions, and simultaneously removes particles with sizes  $\geq 10 \mu m$ . The  $PM_{2.5}$  separator unit (VAST- $PM_{2.5}$ -WINS), placed below the  $PM_{10}$  sampler head, is also designed to meet EPA standards. It functions as a pre-separator for particles larger than or equal to 2.5  $\mu m$ , while removing impurities such as water and debris. The ManPMS system includes additional components such as exhaust pipes, air suction pumps, a controlled air flow rate system through the filter, an air flow rate measurement device, ambient temperature monitoring, a filter holder bracket, atmospheric pressure measurement, a timer, and a housing that complies with the regulations specified in 40-CFR Part 50 of the US EPA.

**Keywords:** Weighted sampler device, dust sampler device, fine particulate matter,  $PM_{2.5}$ ,  $PM_{10}$

**JEL Classifications:** Q53, Q51, Q55.

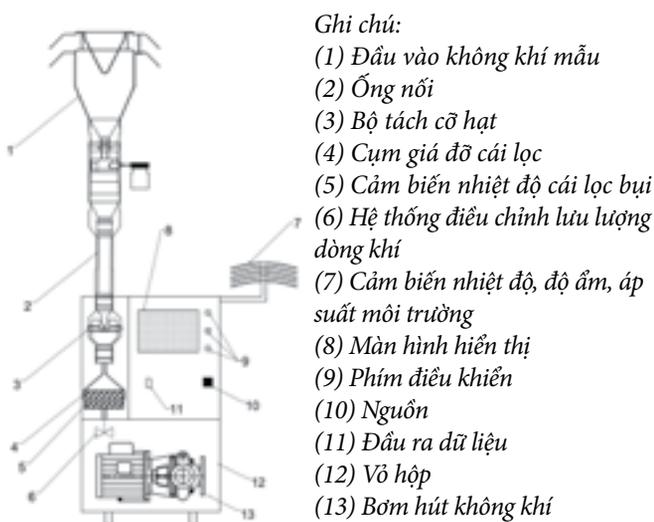
quan trắc PM đều công kênh, nặng và đắt tiền, phải nhập khẩu từ nước ngoài với chi phí lên đến \$100.000 cho mỗi trạm [2]. Việc nhập khẩu thiết bị bụi rất khó khăn, tốn kém, cộng với yêu cầu khắt khe về vị trí lắp đặt, hiệu chuẩn và bảo trì thiết bị. Ngoài ra, trong giám sát nồng độ bụi môi trường không khí xung quanh, phương pháp đáng tin cậy nhất được sử dụng là phương pháp trọng lượng [3], [4]. Phép đo trọng lượng về nồng

độ hạt vật chất (PM) là cơ sở để tính toán, theo dõi nồng độ PM trong không khí xung quanh theo Luật Không khí sạch Liên bang (Bộ luật Quy định Liên bang [CFR], 1999 [5]). Một thể tích không khí xác định được hút qua cái lọc trong một khoảng thời gian cố định. Nồng độ PM được biểu thị bằng trọng lượng của PM được giữ lại trên cái lọc được chia cho thể tích không khí được lấy mẫu và được biểu thị bằng microgam trên mét khối tiêu chuẩn ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Với mục tiêu đáp ứng nhu cầu ngày càng tăng về việc phát triển các thiết bị thu mẫu trọng lượng bụi với các kích thước khác nhau để nghiên cứu ảnh hưởng đến sức khỏe con người, bài báo này trình bày về thiết bị thu mẫu trọng lượng (ManPMS) được thiết kế và chế tạo bởi Trung tâm Nghiên cứu và chuyển giao công nghệ. Thiết bị này bao gồm đầu vào chọn lọc kích thước hạt, cái lọc, giá đỡ cái lọc, bơm hút mẫu và hệ thống bộ điều khiển.

## 2. Phương pháp thiết kế

Bộ lấy mẫu ManPMS được thiết kế để có lưu lượng 16,67 L/phút và sử dụng cửa hút đặc biệt để không bị ảnh hưởng bởi tốc độ và hướng gió, đồng thời loại bỏ côn trùng và nước mưa. Hình 1 thể hiện sơ đồ của bộ lấy mẫu  $\text{PM}_{2,5}$ , gồm hai bộ phận tách trước. Bộ tách sơ bộ ban đầu được thiết kế để loại bỏ các hạt lớn hơn 10  $\mu\text{m}$  khỏi luồng không khí, trong khi bộ tách sơ bộ thứ hai (Well Impactor Ninety-Six (WINS)) được thiết kế để loại bỏ các hạt lớn hơn 2,5  $\mu\text{m}$  AED (đường kính khí động học) và chỉ thu thập bụi  $\text{PM}_{2,5}$  còn lại trên cái lọc Teflon. ManPMS còn bao gồm nhiều thiết bị khác như ống xả, bơm không khí, hệ thống điều khiển lưu lượng, hệ thống giám sát nhiệt độ môi trường và cái lọc, hệ thống đo áp suất khí quyển, bộ hẹn giờ, vỏ bọc, bộ điều khiển cơ, điện hoặc điện tử thích hợp để đáp ứng các quy định trong 40-CFR Part 50, L [6].



▲ Hình 1. Sơ đồ cấu tạo thiết bị thu mẫu khối lượng bụi ( $\text{PM}_{10}$ ,  $\text{PM}_{2,5}$ )

Đối với bộ tác động quán tính, điểm cắt ( $d_{pa50}$ ) có thể được dự đoán [7] dựa trên các kích thước tối hạn của tác động và các đặc tính của luồng không khí:

$$\sqrt{Cd}_{pa50} = \sqrt{\frac{9\mu W}{\rho_p V}} \sqrt{STK_{50}} = \sqrt{\frac{9\pi n \mu W^3}{4\rho_p Q}} \sqrt{STK_{50}} \quad (1)$$

Trong đó:

C: Hệ số hiệu chỉnh độ trượt của hạt

$\mu$ : Độ nhớt động lực của dòng khí ( $\text{g}/\text{cm}\cdot\text{s}$ )

W: Chiều rộng phân lực tác động (cm)

$\rho_p$ : Mật độ hạt ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

V: Vận tốc chất lỏng trung bình qua bộ tác động ( $\text{cm}/\text{s}$ )

$STK_{50}$ : Thông số tác động không thứ nguyên

n: Số lần phân lực

Q: Tốc độ dòng thể tích qua bộ tác động ( $\text{cm}^3/\text{s}$ )

Số Stokes tương ứng với 10  $\mu\text{m}$  xấp xỉ 0,135.

Các hạt hình cầu có mật độ đơn vị đã được mô hình hóa trong tất cả các tính toán và các điểm cắt  $d_{pa50}$  được dự đoán đại diện cho các đường kính tương đương khí động học. Hệ số hiệu chỉnh độ trượt của hạt (C) là một hàm của đường kính vật lý hạt; các đặc tính của không khí và có thể ước tính dựa trên các nghiên cứu thực nghiệm [8]:

$$C = 1 + 1,246 \times k_n + 0,42 \times k_n \times \exp(-0,87/k_n) \quad (2)$$

Trong đó:  $k_n$  là số Knudsen không thứ nguyên và được định nghĩa là đường đi tự do trung bình của không khí chia cho bán kính hạt. Vì đường đi trung bình của không khí tự do là một hàm của cả nhiệt độ và áp suất, số Knudsen phải được tính toán ở điều kiện lấy mẫu thực tế:

$$k_n = 0,0653 \left( \frac{2}{Pd_p} \right) \left( \frac{T}{296} \right) \left( \frac{1,3716}{1+110/T} \right) \quad (3)$$

Trong đó:

P: Áp suất môi trường (atm)

$d_p$ : Đường kính hạt ( $\mu\text{m}$ )

T: Nhiệt độ môi trường ( $\pm \text{K}$ ).

Độ nhớt động lực học của khí ( $\mu$ ) hầu như không phụ thuộc vào áp suất từ 0,01 đến 100 atm, chỉ phụ thuộc vào thành phần của khí và nhiệt độ.

$$\mu = 1,81 \times 10^{-4} \left( \frac{T}{293} \right)^{0,74} \text{ g}/(\text{cm}/\text{s}) \quad (4)$$

Các bộ tác động quán tính thường được sử dụng làm hệ thống lấy mẫu chọn lọc kích thước trong môi trường xung quanh  $\text{PM}_{10}$  (hạt PM có đường kính khí động học nhỏ hơn hoặc bằng 10  $\mu\text{m}$ ) và  $\text{PM}_{2,5}$  (hạt PM có đường kính khí động học nhỏ hơn hoặc bằng 2,5  $\mu\text{m}$ ) [9]. Hiệu suất của bộ tác động quán tính được đặc trưng bởi đường kính khí động học ( $d_{pa50}$ ), là đường

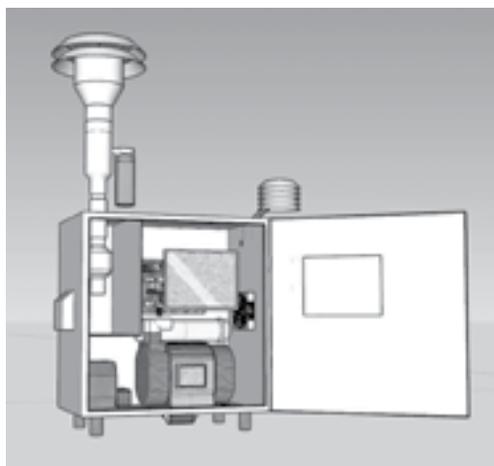
kính khí động học tương ứng với hiệu suất thu 50% và độ lệch chuẩn hình học (GSD) của đường cong hiệu suất thu và tính bằng [10].

$$GSD = \sqrt{\frac{d_{pa84}}{d_{pa16}}} \quad (5)$$

Trong đó:  $d_{pa84}$  và  $d_{pa16}$  là đường kính khí động học tương ứng với hiệu suất thu lần lượt là 84% và 16%.

### 3. Thiết kế và chế tạo ManPMS

Thiết bị thu mẫu trọng lượng (ManPMS) được thiết kế và chế tạo gồm các thành phần chính: Đầu thu mẫu bụi  $PM_{10}$ ; Bộ tách  $PM_{2.5}$ ; Cái lọc và giá đỡ cái lọc; Cảm biến nhiệt độ, áp suất khí quyển và cái lọc; Thiết bị đo và điều khiển lưu lượng khí; Bơm hút và biến tần; Thiết bị điều khiển và giao diện vận hành.

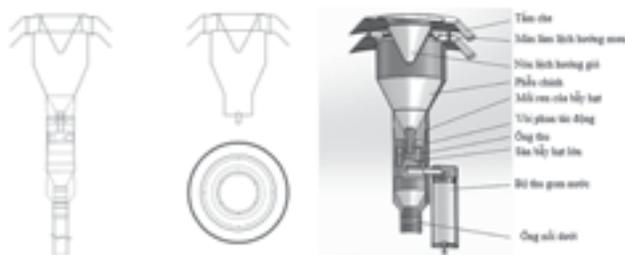


▲ Hình 2. Hình vẽ thiết bị thu mẫu trọng lượng (ManPMS)

#### 3.1. Thiết kế và chế tạo đầu thu mẫu bụi $PM_{10}$

Đầu thu mẫu bụi  $PM_{10}$  (VAST-PM10L-1) được thiết kế dựa trên mẫu đầu thu của EPA  $PM_{10}$  10  $\mu m$  theo quy định của Hoa Kỳ, có khả năng lấy mẫu  $PM_{10}$ , được sử dụng như một bộ tách trước cho các thiết bị lấy mẫu  $PM_{2.5}$  và một số thiết bị đo liên tục theo phương pháp tương đương (TOEM, BAM). Với khả năng giữ lại các hạt có kích thước lớn hơn 10  $\mu m$  trong bẫy hạt và loại trừ khỏi đường dẫn dòng khí của mẫu, VAST-PM10L-1 có thể tiếp nhận các hạt nhỏ hơn để lấy mẫu hoặc để phân tách tiếp theo.

Điểm cắt, đặc tính gió của VAST-PM10L-1 đã được xác định và đánh giá. Điểm cắt của VAST-PM10L-1 được xác định là  $d_{pa50}$  ở mức 9,8  $\mu m$  khi vận hành ở lưu lượng dòng khí 16,7 L/min. Điểm cắt  $d_{pa50}$  là đường kính khí động học tương ứng với hiệu suất thu 50% của đầu thu mẫu. Độ lệch chuẩn hình học của đường cong hiệu suất thu cũng là một đặc tính quan trọng của đầu thu mẫu và có thể được tính bằng phương pháp đo thích hợp.



▲ Hình 3. Thiết kế đầu thu mẫu bụi  $PM_{10}$  (VAST-PM10L-1)

▲ Hình 4. Cấu tạo đầu thu mẫu bụi  $PM_{10}$  (VAST-PM10L-1)

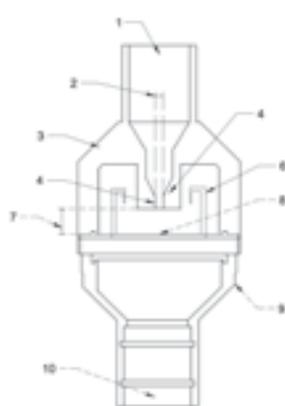
VAST-PM10L-1 không chỉ đáp ứng các yêu cầu theo tiêu chuẩn của EPA, mà còn có nhiều tính năng và cải tiến độc đáo. Thân máy bằng nhôm được thiết kế với khía ở trên và dưới khớp nối bẫy hạt có ren giúp dễ dàng mở, thậm chí trong điều kiện ẩm ướt hoặc lạnh hoặc khi đeo găng tay. Mỗi đầu vào cũng được trang bị thêm một bộ vòng đệm chữ o kép dự phòng. Với vít ngón tay cái ở dưới cùng của chồng đĩa có mái che, việc tháo rời toàn bộ phần trên để làm sạch trở nên dễ dàng hơn. Bề mặt nhôm của thiết bị được cải tiến với đặc tính Anodizing loại 2+ để giảm thiểu các vấn đề ăn mòn trong môi trường ven biển. Cấu hình bên ngoài của ổ cắm phía dưới được cải tiến để cung cấp vị trí vít đặt tùy chọn, tăng tính an toàn cho ống đầu vào ở những vị trí có gió. Thiết bị phù hợp với các thiết bị sử dụng ống đầu vào đường kính ngoài 31,6 mm tiêu chuẩn và lưu lượng hút 16,67 L/min (1,0  $m^3/h$ ). Ngoài ra, VAST-PM10L-1 có sẵn bộ thu nước acrylic chống tia UV chống vỡ hoặc các bình thu nước thủy tinh 200 mL hoặc 475 mL cổ điển.



▲ Hình 5. Hình ảnh thực tế của đầu thu gom mẫu VAST-PM10L-1

#### 3.2. Thiết kế và chế tạo đầu thu mẫu bụi $PM_{2.5}$

Đầu thu mẫu  $PM_{2.5}$  (VAST-PM<sub>2.5</sub>-WINS) dựa trên nguyên tắc tác động trực tiếp quán tính theo phương pháp tham chiếu liên bang (FRM) USEPA  $PM_{2.5}$ . Cái lọc trong giếng của bộ tác động VAST-PM<sub>2.5</sub>-WINS cần thay sau mỗi 48 đến 72h lấy mẫu. Không khí mẫu đi vào đầu thu gom mẫu và được hút qua VAST-PM<sub>2.5</sub>-WINS (Hình 6), tại đây các hạt có đường kính khí động học lớn hơn 2,5  $\mu m$  được loại bỏ bằng cách tác động chúng vào đáy của bình chứa hình trụ (giếng) bằng nhôm có nắp mở.



- Ghi chú:  
 (1) Đầu vào hạt bụi PM<sub>10</sub>  
 (2) Chiều rộng lỗ phân lực (W)  
 (3) Nắp trên  
 (4) Nozzle  
 (5) Chiều dài cổ phễu (L)  
 (6) WINS với vòng chống tràn  
 (7) Khoảng cách từ lỗ phân lực đến tấm (S)  
 (8) Cái lọc bề mặt ép chìm trong dầu  
 (9) Nắp dưới  
 (10) Đầu ra hạt bụi PM<sub>2,5</sub>

▲ Hình 6. Cấu tạo của bộ tách hạt PM<sub>2,5</sub> (VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS)

Dựa trên những tiêu chuẩn và nguyên lý thiết kế, nghiên cứu nhận thấy việc sản xuất các phần của bộ tác động đương nhiên dẫn đến sự thay đổi nhỏ trong kích thước thành phần. Công thức (1) cho thấy điểm cắt của WINS là căn bậc hai của số STK<sub>50</sub>, bản thân nó tương đối không nhạy cảm với những thay đổi về khoảng cách từ lỗ phân lực đến tấm (S) hoặc chiều dài họng (T) trong giới hạn dung sai gia công [11].

Tuy nhiên, công thức (1) cho thấy điểm cắt tỷ lệ với W<sup>3/2</sup>, do đó dung sai khá chặt phải được duy trì trong quá trình gia công đường kính lỗ phân lực. Các thông số kỹ thuật thiết kế cho WINS quy định rằng đường kính phân lực phải là 3,91 mm với dung sai ± 0,05 mm. WINS đã được gia công và kiểm tra bằng dụng cụ đo có thể theo dõi của NIST để đảm bảo mỗi đầu bộ tách hạt đáp ứng thông số kỹ thuật này. Dựa trên điểm cắt đã hiệu chuẩn của WINS là đường kính khí động học 2,48 μm cho chiều rộng lỗ phân lực là 3,91 mm. Công thức (1) dự đoán điểm cắt là 2,43 μm và 2,53 μm cho chiều rộng phân lực tương ứng là 3,86 mm và 3,96 mm. Những thay đổi được dự đoán này về điểm cắt đối với các biến thiên chiều rộng cho phép do đó thể hiện sự dịch chuyển điểm cắt xấp xỉ ± 2% so với giá trị 2,48 μm đã được hiệu chuẩn.

Thiết kế điểm cắt WINS có độ lệch xấp xỉ 2% không đồng nghĩa với việc nồng độ khối lượng bụi PM<sub>2,5</sub> đo được cũng sẽ bị lệch 2%. Thực tế, khối lượng hạt PM có thể thâm nhập vào bộ tách hạt là một hàm phụ thuộc vào cả hiệu suất lựa chọn kích thước của tác động (điểm cắt và hình dạng) cũng như sự phân bố kích thước, nồng độ của hạt PM.

**Bảng 1. Kích thước của bộ tách hạt VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS thử nghiệm**

Chiều dài cổ phễu, L (cm)	Khoảng cách từ lỗ phân lực tới tấm, S (cm)	Chiều rộng lỗ phân lực, W (cm)	S/W	L/W	Re
0,61	1,22	0,391	3,1	1,6	6.000

VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS thể hiện trong Hình 9 và hoạt động ở hạ lưu của đầu vào PM<sub>10</sub> với lưu lượng hút 16,7 L/min. Bộ tách hạt gồm nắp phía trên, một thùng chứa (giếng) và một nắp bên dưới. Hạt PM được cung cấp bởi một lỗ tròn, lỗ phân lực gắn với vỏ trên. Lối vào hình nón đã được thiết kế để giảm thiểu sự gián đoạn của dòng khí di chuyển qua vòi phun và vận tốc đồng đều ở lối ra phân lực. Hạt PM có đủ quán tính được tác động vào giếng trên một cái lọc sợi thủy tinh hình tròn có đường kính 37 mm được ngâm trong 1 mL dầu bơm khuấy tán có độ bay hơi thấp.

Bể chứa và đập (giếng), chất nền thiết kế nhằm giảm thiểu quá tải và phản ứng hạt do bộ tác động gây ra. Hình dạng tấm ép kiểu giếng truyền thống được thiết kế để giữ một lượng dầu tương đối lớn (lên đến 3 mL) trong khu vực ép dầu ngay cả khi thiết bị vô tình bị lật nghiêng hoặc thậm chí bị lật ngược.

VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS làm bằng nhôm anốt hóa và gắn với nhau bằng gioăng cao su. Đầu vào được nối với đầu thu mẫu bụi PM<sub>10</sub> (VAST-PM<sub>10</sub>-L-1) và đầu ra kết nối với giá đỡ cái lọc của thiết bị ManPMS hoặc thiết bị đo bụi PM.



▲ Hình 7. Tổng thể VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS



▲ Hình 8. Chi tiết VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS

VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS cấu tạo đơn giản, dễ dàng tháo lắp trong quá trình vận hành với chi phí thấp, phù hợp với tất cả các thiết bị thu mẫu và giám sát hạt PM<sub>2,5</sub> FRM và FEM 16,7 L/min sử dụng đầu thu mẫu theo tiêu chuẩn EPA. Tuy nhiên, với lưu lượng thấp, kích thước cắt tương đối lớn có thể xảy ra sự nảy hạt, quá tải hạt và thất thoát hạt và hiệu suất thu mẫu phụ thuộc nhiều vào loại chất nền và lượng chất nền được sử dụng.

Thông số kỹ thuật VAST-PM<sub>2,5</sub>-WINS:

- Điểm cắt d<sub>pa50</sub>: 2,5 μm, ở lưu lượng thiết kế 16,67 L/min
- Dầu tác động: dầu khuấy tán silicone Dow 704; 1,0 mL
- Bộ lọc Impaction: bộ lọc đĩa bằng sợi thủy tinh 37 mm
- Khoảng thời gian làm sạch: tối đa 5 ngày cần làm sạch 1 lần.

### 3.3. Cảm biến nhiệt độ, áp suất khí quyển và cái lọc

Thiết bị ManPMS cấu tạo bởi bơm hút không dầu (VTE 6, Thomas, Đức), cảm biến nhiệt độ, áp suất khí quyển để đo thể tích lấy mẫu chuẩn hóa cùng với bộ tác động đầu vào PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> lưu lượng danh nghĩa 16,67 L/min. Phương pháp trọng lượng dựa vào hút lượng mẫu PM thông qua cái lọc và tính toán nồng độ PM (C<sub>m</sub>) thông qua tỷ số giữa PM được hút mẫu và thể tích khí hút mẫu theo điều kiện tiêu chuẩn V<sub>N</sub> (25°C và 101,3 kPa) như công thức (6):

$$C_m = \frac{\Delta m}{V_N} = \frac{m_f - m_i}{V_N} \quad (6)$$

Trong đó: m<sub>f</sub> và m<sub>i</sub> lần lượt là khối lượng cái lọc trước và sau khi hút mẫu. Thể tích khí thu được theo công thức:

$$V_N = \left(\frac{T_N}{T}\right) \cdot \left(\frac{p}{p_N}\right) \cdot V \quad (7)$$

Trong đó: T, p, V là nhiệt độ, áp suất thực tế và thể tích tương ứng.

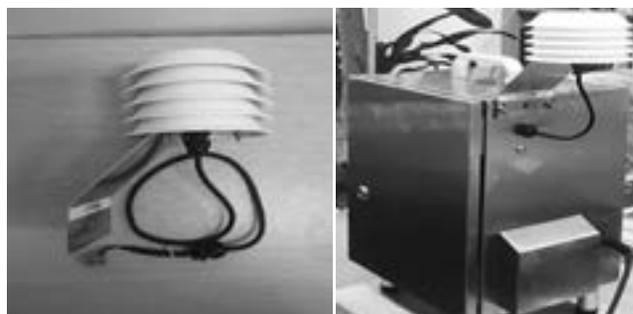
Bơm hút mẫu từ ngoài không khí vào cái lọc bụi, nước, dầu hoặc các chất lỏng khác được tách trước khi hút vào bơm.

Thiết bị ManPMS có 2 cảm biến nhiệt độ (nhiệt độ môi trường xung quanh và nhiệt độ giá đỡ cái lọc). Các cảm biến nhiệt độ được kiểm tra định kỳ và đảm bảo độ chính xác ± 2°C [12]. Nếu nhiệt độ vượt quá 15°C và bơm hút mẫu đang chạy thì quạt gió sẽ khởi động. Quạt gió ngừng chạy khi nhiệt độ giảm xuống dưới 10°C.

#### Cụm cảm biến nhiệt độ môi trường xung quanh

Cảm biến nhiệt độ môi trường xung quanh thu động sử dụng một điện trở nhiệt được bảo vệ bởi một số tấm tròn. Cảm biến nhiệt độ sử dụng platinum RTD Class 1/3B. Cảm biến áp suất khí quyển là một thiết bị điện trở áp được thiết kế với độ chính xác cao và ổn định lâu dài. Tất cả các thành phần được đặt trong một tấm chắn bức xạ tự nhiên nhiều tấm để giảm các lỗi làm nóng do bức xạ mặt trời. Tấm chắn bao gồm một loạt các tấm nhôm đồng tâm màu trắng, cho phép luồng không khí đi qua tấm chắn, đồng thời chặn các tia mặt trời trực tiếp.

Cảm biến nhiệt độ môi trường bao gồm tấm chắn nhiệt độ Model 5980, cảm biến nhiệt độ Model 597 RTD (Met One, Inc, Hoa Kỳ). Đặt cảm biến nhiệt độ môi trường xung quanh cột với tấm trên phẳng hướng lên trên và đầu nối cáp hướng xuống đất sao cho các tấm chắn đối diện với mặt sau của giá ba chân. Hạ thấp cảm biến xuống cho đến khi giá đỡ chạm vào đỉnh của khung dưới cùng của thiết bị điều khiển. Gắn cáp và đầu nối với cảm biến nhiệt độ môi trường từ hộp điều khiển máy bơm.

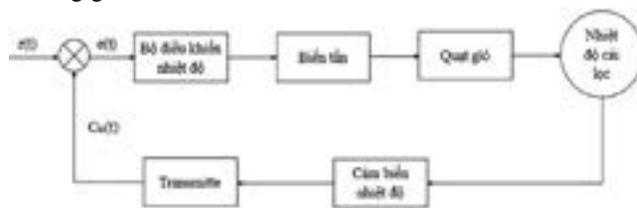


▲ Hình 9. Cảm biến nhiệt độ, độ ẩm và áp suất cảm biến nhiệt độ cái lọc

▲ Hình 10. Gắn thiết bị điều khiển

Cảm biến nhiệt độ cái lọc model 597RTD của bộ thu mẫu PM được đặt trong không gian mở ngay bên dưới băng lọc, đồng thời có khả năng giám sát nhiệt độ của cái lọc mẫu trong phạm vi từ (-30 ÷ 45)°C trong cả giai đoạn thu mẫu và không thu mẫu.

Giá đỡ cái lọc (VAST-FC47) được gia công từ polyme acetal của Delrin® chống mài mòn cho đến dung sai chính xác để có sự phù hợp nhất quán không bị rò rỉ và bao gồm một đĩa đệm cái lọc bằng thép không gỉ có đục lỗ chính xác.



▲ Hình 11. Sơ đồ khối hệ thống đo và điều khiển nhiệt độ cho giá đỡ cái lọc bụi

Trong đó:

r(t): Tín hiệu vào, tín hiệu chuẩn yêu cầu của hệ thống

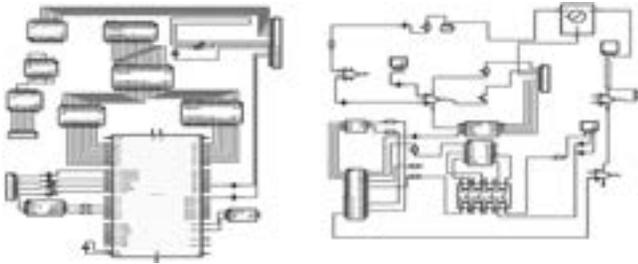
e(t): Sai số giữa tín hiệu thực và tín hiệu chuẩn

C<sub>m</sub>(t): Tín hiệu hồi tiếp từ cảm biến nhiệt độ

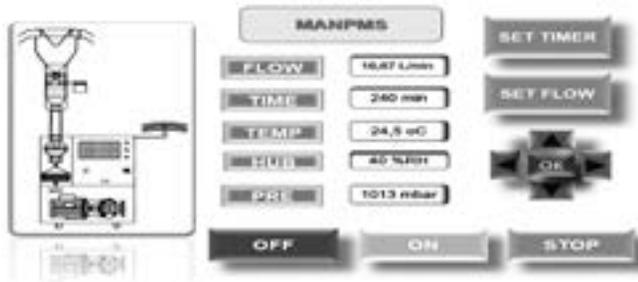
Cảm biến đo nhiệt độ cái lọc sẽ đưa qua bộ chuyển đổi Transmitter TA100, biến đổi thành tín hiệu chuẩn đưa vào bộ điều khiển nhiệt độ E5CZ-C2ML. Khi đó, thông tin nhiệt độ sẽ được hiển thị và nếu nhiệt độ của cái lọc vượt ngưỡng (cài đặt trong bộ điều khiển) thì bộ điều khiển sẽ đưa tín hiệu đến biến tần Siemens MM 420 để điều chỉnh tần số giúp giảm tốc độ quạt gió làm giảm lưu lượng khí vào cái lọc giúp nhiệt độ cái lọc giảm. Thông tin nhiệt độ sẽ đưa đến bộ điều khiển liên tục, khi nhiệt độ cái lọc giảm xuống đến ngưỡng thấp thì bộ điều khiển lại đưa tín hiệu đến biến tần để điều chỉnh tăng tốc độ quạt gió giúp tăng nhiệt độ cái lọc. Quá trình lặp đi lặp lại tuần hoàn để đảm bảo nhiệt độ cái lọc được duy trì ở nhiệt độ xác định, không chênh lệch quá ±1°C so với nhiệt độ đo bởi cảm biến thử nghiệm nhiệt độ môi trường xung quanh trong cả quá trình thu mẫu và chế độ không thu mẫu [13].

### 3.4. Thiết bị điều khiển và giao diện vận hành

ManPMS với đầu ra dữ liệu RS-232C gồm lưu lượng (L/min), nhiệt độ và áp suất môi trường xung



▲ Hình 12. Mạch điều khiển thiết bị thu mẫu trọng lượng (ManPMS)



▲ Hình 13. Giao diện vận hành thiết bị thu mẫu trọng lượng (ManPMS)

quanh cũng như cái lọc, thời gian bắt đầu và kết thúc thu mẫu.

#### 4. Kết luận

Nghiên cứu đã thiết kế và sản xuất thiết bị thu mẫu trọng lượng (ManPMS) đáp ứng tiêu chuẩn của Cơ

quan BVMT Hoa Kỳ (40-CFR Part 50) với các thông số kỹ thuật như sau:

- Thiết bị được trang bị một cái lọc 47 mm được lắp trong bộ giữ lọc.

- Nhiệt độ môi trường xung quanh và nhiệt độ cái lọc có thể điều chỉnh trong phạm vi (-50 ~ 70)°C với độ phân giải là 0,01°C.

- Áp suất không khí có thể đo được trong phạm vi (500 - 1.100) mBar với độ phân giải 0,01 mBar.

- Thiết bị được điều khiển thời gian thực và được lập trình với chức năng khởi động và dừng, hiển thị số ngày và thời gian lấy mẫu với độ chính xác là ±2 phút/tháng.

- Bơm hút chân không của thiết bị hoạt động ổn định và ít tiếng ồn, đảm bảo duy trì lưu lượng hút ở mức 16,67 L/phút ±5% và độ chính xác ±2% với tổng thể tích tính từ lưu lượng, với độ phân giải 0,01 m<sup>3</sup>.

- Màn hình LCD 20 x 4 hiển thị các thông số và thiết bị có cổng xuất dữ liệu qua USB hoặc RS232. Nguồn điện của thiết bị là 230 VAC ± 10%, 50 Hz.

**Lời cảm ơn:** Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã phê duyệt và hỗ trợ kinh phí để thực hiện đề tài “Nghiên cứu, chế tạo và tích hợp thiết bị thu mẫu khối lượng bụi (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>) trong môi trường không khí ngoài trời” với mã số CT0000.11/21-23■

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. “Gần 1.300 trạm quan trắc tự động truyền số liệu về Bộ TN&MT”, <http://tnmttuyenquang.gov.vn/tin-tuc/moi-truong/gan-1300-tram-quan-trac-tu-dong-truyen-so-lieu-ve-bo-tnmt-22922.html> (accessed Apr. 25, 2023).
2. N. Castell et al., “Can commercial low-cost sensor platforms contribute to air quality monitoring and exposure estimates?”, *Environ. Int.*, vol. 99, pp. 293-302, 2017, doi: 10.1016/j.envint.2016.12.007.
3. P. H. McMurry, “A review of atmospheric aerosol measurements”, *Dev. Environ. Sci.*, vol. 1, no. C, pp. 443–517, 2002, doi: 10.1016/S1474-8177(02)80020-1.
4. J. C. Chow, “Measurement methods to determine compliance with ambient air quality standards for suspended particles”, *J. Air Waste Manag. Assoc.*, vol. 45, no. 5, pp. 320-382, 1995, doi: 10.1080/10473289.1995.10467369.
5. C. of F. R. (CFR), “40 CFR 50.6 and 50.7- Revised as of July 1, 2011. National Ambient Air Quality Standards for Particulate Matter.”, *Fed. Regist. Washington, DC U.S. Gov. Publ. Off.*, 1999, Accessed: Sep. 23, 2021. [Online]. Available: <https://www.ecfr.gov/cgi-bin/retrieveECFR?gp=&SID=0f3bfa16342b3e5b858743bbbdca4f&n=40y2.0.1.1&r=PART&ty=HTML>
6. United States Environmental Protection Agency, “40 CFR Appendix L to Part 50 - Reference Method for the Determination of Particulate Matter as PM<sub>10</sub> in the Atmosphere”, *Code Fed. Regul.*, 1997.
7. K. W. V.A. Marple, “Impactor Design”, in *Atmos. Environ.* 12, 1976, pp. 891-896.
8. K. Willeke, “Temperature dependence of particle slip in a gaseous medium”, *J. Aerosol Sci.*, vol. 7, no. 5, pp. 381-387, Sep. 1976, doi: 10.1016/0021-8502(76)90024-0.
9. J. G. Watson and J. C. Chow, “Ambient Aerosol Sampling”, in *Aerosol Measurement: Principles, Techniques, and Applications: Third Edition*, 2011, pp. 821-844. doi: 10.1002/9781118001684.ch26.
10. L. C. Kenny, T. Merrifield, D. Mark, R. Gussman, and A. Thorpe, “The development and designation testing of a new USEPA-approved fine particle inlet: A study of the USEPA designation process”, *Aerosol Sci. Technol.*, vol. 38, no. SUPPL. 2, pp. 15-22, 2004, doi: 10.1080/027868290502290.
11. V. A. Marple and K. L. Rubow, “Theory and design guidelines”, in *Cascade impactors: sampling & data analysis*, 1986.
12. U.S. Environmental Protection Agency, “Quality Assurance Document 2.12-Monitoring PM<sub>2.5</sub>”, *Monit. PM<sub>2.5</sub> Ambient Air Using Des. Ref. or Cl. I Equiv. Methods*, p. 105, 1998.
13. Federal Register, “Revised Requirements for Designation of Reference and Equivalent Methods for PM<sub>2.5</sub> and Ambient Air Quality Surveillance for Particulate Matter: Subpart F-Procedures for Testing Performance Characteristics of Class II Equivalent Methods for PM<sub>2.5</sub>”, in *Federal Register 40 CFR Parts 53 and 58*, 1997.