

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN XÁC ĐỊNH CÁC THÔNG SỐ CƠ BẢN CỦA HỆ THỐNG BƠM SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG MẶT TRỜI CẤP NƯỚC SINH HOẠT CHO VÙNG MIỀN NÚI

Trịnh Quốc Công¹, Hồ Ngọc Dung¹, Hồ Sỹ Mão¹

Tóm tắt: Cuộc sống của cộng đồng các dân tộc thiểu số ở vùng sâu, vùng xa, miền núi hiện đang còn khó khăn. Nhu cầu điện nước sinh hoạt còn thiếu thốn, nhất là nguồn nước sử dụng hàng ngày đang bị thiếu hụt trầm trọng do biến đổi khí hậu, mùa khô kéo dài. Khi cơ sở hạ tầng chưa được đầu tư, nguồn nước máy và nguồn điện lưới chưa thể đến được với các thôn bản thì hệ thống cấp nước bằng năng lượng mặt trời (PVPS) là một giải pháp hữu hiệu. Hiện nay, ở Việt Nam, hệ thống PVPS hầu như chưa được áp dụng hoặc áp dụng rất nhỏ lẻ vì chưa có cơ sở khoa học tính toán thiết kế cho hệ thống này. Bài báo nghiên cứu đưa ra cơ sở khoa học tính toán xác định công suất cũng như lưu lượng hệ thống bơm sử dụng năng lượng mặt trời xuất phát từ yêu cầu trên. Nghiên cứu được áp dụng tính toán cho hệ thống PVPS cấp nước sinh hoạt cho bản Lùng Lú, tỉnh Hà Giang.

Từ khóa: Hệ thống PVPS, cường độ bức xạ mặt trời, cấp nước sinh hoạt.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, cộng đồng các dân tộc thiểu số ở khu vực miền núi, vùng cao, vùng sâu đặc biệt ở các tỉnh miền núi phía bắc Việt Nam có cuộc sống rất khó khăn. Trong đó vấn đề cấp điện, cấp nước sinh hoạt còn đang thiếu thốn trầm trọng. Do tập quán canh tác nên một số cộng đồng dân tộc thiểu số chọn nơi ở, định cư tại các sườn núi cao, địa hình hiểm trở, giao thông khó khăn. Các cộng đồng nhỏ lẻ, sống rải rác nên để đảm bảo cơ sở vật chất hạ tầng, điện nước là rất khó. Như một bản người dân tộc H'mông ở bản Lùng Lú nằm ở phía bắc thị trấn Đồng Văn, tỉnh Hà Giang, bản này nằm ở độ cao 1220m so với mực nước biển và cách thị trấn 1200m di chuyển đường bộ. Ở đây đồng bào chủ yếu lấy nước mưa hoặc nước suối để sử dụng trong sinh hoạt hàng ngày, tuy nhiên do nguồn nước suối ở rất xa khu vực sinh sống nên hàng ngày người dân phải mất rất nhiều thời gian và công sức để lấy nước về phục vụ sinh hoạt.

Để giải quyết bài toán cấp nước sinh hoạt

cho người dân vùng cao, một trong các giải pháp hữu hiệu là sử dụng công nghệ bơm bằng năng lượng mặt trời. Tuy nhiên, ở Việt Nam, công nghệ bơm này được sử dụng rất hạn chế, chỉ có một số ít công trình cấp nước bằng hệ thống bơm sử dụng năng lượng mặt trời do các hộ tư nhân tự lắp đặt phục tưới nông nghiệp cũng như cấp nước sinh hoạt. Các công trình này được thực hiện theo kinh nghiệm mà không có tính toán cụ thể công suất cũng như lưu lượng bơm để đáp ứng được nhu cầu dùng nước nên thường hoạt động không hiệu quả. Vì vậy cần phải có phương pháp tính toán công suất cũng như lưu lượng bơm dựa trên cơ sở khoa học để áp dụng khai thác hiệu quả hệ thống bơm năng lượng mặt trời phục vụ cấp nước sinh hoạt cho khu vực vùng xa, vùng sâu, miền núi nơi chưa có mạng lưới cấp nước cũng như lưới điện quốc gia.

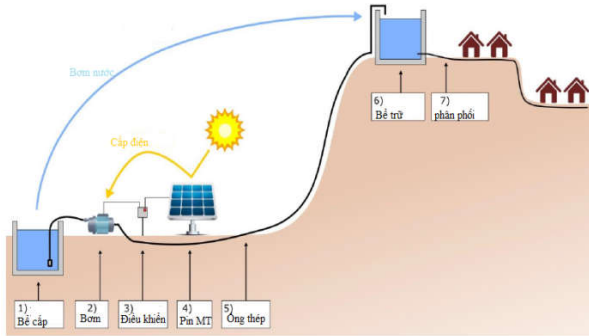
2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Xây dựng công thức tính toán lưu lượng, công suất bơm của hệ thống PVPS

Hệ thống PVPS bao gồm các thành phần

¹ Khoa Công trình, Trường Đại học Thủy lợi

chính: (1) bể cấp nước; (2) máy bơm; (3) bộ điều khiển máy bơm; (4) tấm pin mặt trời; (5) đường ống cấp nước; (6) bể trữ nước; (7) đường ống cấp nước cho các hộ tiêu dùng (hình 1). (Karl institute of Technology, 2020)



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hệ thống PVPS

Nguyên lý hoạt động của hệ thống là các tấm pin mặt trời chuyển đổi năng lượng mặt trời thành điện năng, cấp điện cho động cơ máy bơm, máy bơm sẽ hút nước từ bể cấp và chuyển nước lên bể trên để trữ cho các hộ dùng.

Tấm pin năng lượng (PV) hoạt động dựa trên quá trình chuyển hóa năng lượng của ánh sáng mặt trời thành dòng điện 1 chiều (DC) trên tấm pin. Công suất của tấm pin phụ thuộc vào cường độ bức xạ của ánh sáng mặt trời được thể hiện trong công thức sau: (Uppsala University, 2019)

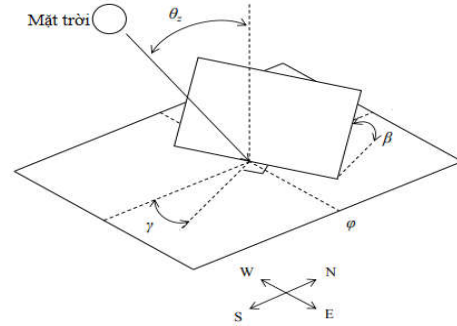
$$P_{PV} = \mu_{PV} \cdot I_T \cdot A_{PV} \cdot n_s \cdot n_p \quad (1)$$

Trong đó: P_{PV} -công suất tấm pin mặt trời tại thời điểm tính toán (W); μ_{PV} -hiệu suất tấm pin; I_T -cường độ bức xạ mặt trời (W/m^2); A_{PV} -diện tích 1 tấm pin (m^2); n_s -số tấm pin mắc nối tiếp; n_p -số dãy pin mắc song song.

Cường độ bức xạ mặt trời trên mặt phẳng tấm pin phụ thuộc vào số giờ nắng trong ngày và bị ảnh hưởng của môi trường, thời tiết, địa điểm, địa hình...nên nó là một giá trị luôn luôn thay đổi được xác định theo biểu thức sau:

$$I_T = I_b \cos \theta + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right) \quad (2)$$

Trong đó: I_T -cường độ bức xạ tổng trên mặt tấm pin; I_b - cường độ bức xạ mặt trời trong bầu khí quyển trên mặt phẳng ngang; I_d - cường độ bức xạ khuếch tán trong khí quyển; β -góc nghiêng của mặt phẳng; ρ_g - hệ số phản xạ môi trường xung quanh. Sơ đồ tính toán cường độ bức xạ trên mặt phẳng nghiêng thể hiện như hình 2.



Hình 2. Sơ đồ tính toán bức xạ mặt trời

θ -góc hợp bởi tia bức xạ và pháp tuyến của mặt phẳng nghiêng. Góc θ được xác định theo công thức:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \sin \varphi \cos \beta \\ & - \sin \delta \cos \varphi \sin \beta \cos \gamma \\ & + \cos \delta \sin \gamma \sin \beta \sin \omega \\ & + \cos \delta \cos \varphi \cos \beta \cos \omega \\ & + \cos \delta \sin \varphi \sin \beta \cos \gamma \cos \omega \end{aligned} \quad (3)$$

Các góc φ là góc vĩ độ tại vị trí tính toán; γ là góc phương vị của mặt phẳng; δ là góc hợp bởi quỹ đạo mặt trời và mặt phẳng xích đạo, góc δ phụ thuộc vào số thứ tự ngày n ($n=1-365$) tính từ ngày 1/1 trong năm được xác định theo công thức:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (4)$$

Góc ω - góc giờ là góc quay của trái đất tính từ mặt trời ở thiên đỉnh, phụ thuộc vào giờ mặt trời t_s (phút) được xác định như sau:

$$\omega = 15 \left(\frac{t_s}{60} - 12 \right) \quad (5)$$

Máy bơm biến cơ năng nhận được từ động cơ thành năng lượng chuyển động của dòng chất lỏng. Công suất máy bơm được xác định theo công thức:

$$N_b = \frac{9.81QH}{\eta_b} \quad (6)$$

Trong đó: N_b -công suất của máy bơm (kW); Q -lưu lượng thiết kế (m^3/s); H -cột nước bơm có tính đến tổn thất trên đường dẫn (m); η_b -hiệu suất của máy bơm.

Để máy bơm có thể làm việc được thì máy bơm cần được cung cấp công suất thỏa mãn (6). Từ đó ta có mối quan hệ giữa công suất tấm pin mặt trời và công suất máy bơm như sau:

$$\frac{9.81QH}{\eta_b} = \mu_{PV} \cdot I_T \cdot A_{PV} \cdot n_s \cdot n_p \quad (7)$$

hay

$$Q = \frac{\eta_b \cdot \mu_{PV} \cdot I_T \cdot A_{PV} \cdot n_s \cdot n_p}{9.81 \cdot H} \quad (8)$$

$$Q_{\min} \leq Q \leq Q_{\max}$$

$Q_{\max}$ -lưu lượng lớn nhất thiết kế của máy bơm (m^3/s).

$Q_{\min}$ - lưu lượng nhỏ nhất thiết kế của máy bơm (m^3/s).

Lượng nước cấp lên bể được xác định theo công thức sau:

$$V = \int_{t_{s1}}^{t_{s2}} Q_i dt = \sum_{i=1}^n Q_i \Delta t \quad (9)$$

Trong đó: V -tổng lượng nước cấp trong ngày (m^3); Q_i -lưu lượng bơm trung bình giờ thứ i (m^3/s); t_{s1} , t_{s2} là thời gian bắt đầu và kết thúc khi có năng lượng bức xạ mặt trời; Δt là thời đoạn tính toán, $\Delta t=1h$; n -số thời đoạn tính toán $n\Delta t = t_{s2} - t_{s1}$.

Công thức (8) cho thấy mối quan hệ giữa các đại lượng máy bơm và các thông số năng lượng tấm pin mặt trời, là cơ sở để chọn các thông số cho hệ thống PVPS. Khi các thông số của hệ thống PVPS đã được tính toán và lựa chọn thì quá trình làm việc của máy bơm gần như phụ thuộc hoàn toàn vào cường độ bức xạ

của mặt trời trong ngày và có thể biểu diễn bằng hàm $Q=f(I_T)$. Lưu lượng Q bơm được khống chế bằng $Q_{\max}$ khi cường công suất của các tấm pin mặt trời lớn hơn công suất định mức của máy bơm và được lấy bằng 0 khi cường độ bức xạ không đủ để bơm với lưu lượng $Q_{\min}$.

2.2. Xây dựng dữ liệu cường độ bức xạ tính toán

Cường độ bức xạ là đại lượng ngẫu nhiên, phụ thuộc vào các yếu tố thời tiết và thay đổi liên tục giữa các ngày, các tháng trong năm, nên lưu lượng và tổng lượng bơm trong ngày cũng có sự thay đổi theo sự thay đổi của cường độ bức xạ. Do vậy cần thiết lựa chọn dữ liệu bức xạ tính toán để đảm bảo yêu cầu cấp nước theo quy định.

Theo QCVN 04-05-2012 (QCVN 04 - 05 : 2012/BNNT), mức đảm bảo (P_{tk}) cấp nước sinh hoạt phụ thuộc vào cấp công trình và yêu cầu về sự gián đoạn trong quá trình cấp nước. Đối với công trình cấp nước sinh hoạt cho vùng miền núi có thể cho phép gián đoạn thời gian ngắn nên mức đảm cấp nước được lựa chọn là $P_{tk} = 85\%$. Do cột nước bơm không có biến đổi lớn nên mức bảo đảm về cấp nước (lưu lượng) cũng chính là mức bảo đảm về công suất hay cường độ bức xạ tính toán. Từ đó, dữ liệu về cường độ bức xạ tính toán được lựa chọn như sau:

- Xây dựng đường tần suất về cường độ bức xạ trung bình ngày cho liệt năm.

- Từ mức bảo đảm cấp nước xác định được bức xạ trung bình ngày tính toán.

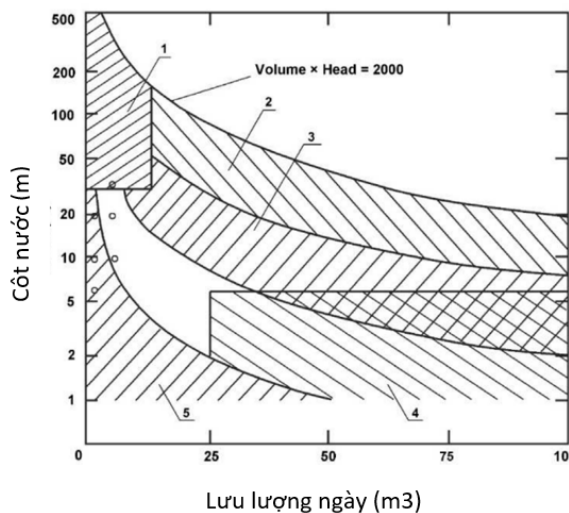
- Từ bức xạ trung bình ngày tính toán lựa chọn được ngày điển hình có bức xạ trung bình tương ứng

- Xác định bức xạ trung bình theo từng giờ của ngày điển hình tác dụng lên tấm pin.

2.3. Lựa chọn loại, công suất máy bơm và công suất, số lượng tấm pin mặt trời

Hiện tại có nhiều loại máy bơm phù hợp cho hệ thống PVPS. Loại máy bơm được

chọn phụ thuộc vào lượng nước bơm trong ngày và cột nước bơm. Theo nghiên cứu của phòng thí nghiệm quốc gia Sandia, Hoa Kỳ (Center Sandia National Laboratories. Water pumping, 1987), Loại máy bơm cho hệ thống PVPS được chọn theo biểu đồ sau:



Hình 3. Phạm vi lựa chọn máy bơm cho hệ thống PVPS

Trong đó:

Vùng 1: Máy bơm thể tích.

Vùng 2: Máy bơm chìm AC.

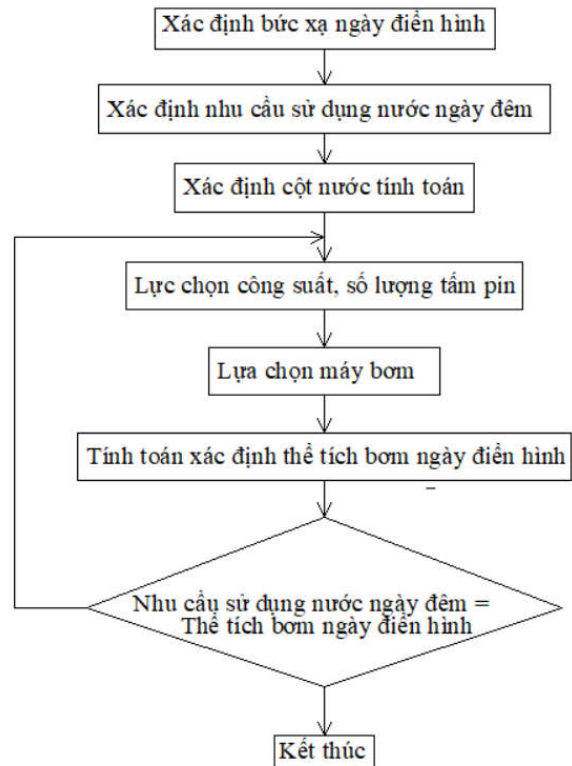
Vùng 3: Máy bơm chìm AC, DC.

Vùng 3: Máy bơm tự mồi.

Vùng 5: Máy bơm cỡ nhỏ điều khiển bằng tay.

Công suất của máy bơm được chọn lớn hơn công suất phát lớn nhất của các tấm pin trong ngày điển hình và lấy theo catalogues của bơm.

Việc lựa chọn số lượng tấm pin và công suất máy bơm phải đảm bảo với cường độ bức xạ tính toán của ngày điển hình, tổng lượng nước bơm đáp ứng được nhu cầu dùng nước tính toán. Các bước lựa chọn công suất và số lượng tấm pin được cho trong sơ đồ sau:



Hình 4. Sơ đồ tính toán xác định thông số của hệ thống PVPS

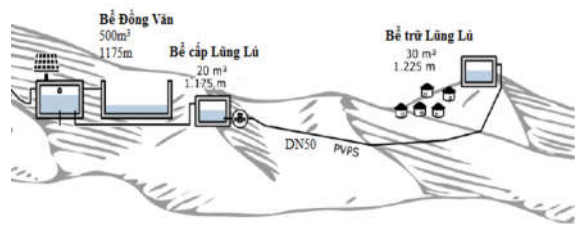
3. ÁP DỤNG TÍNH TOÁN CHO HỆ THỐNG CẤP NƯỚC BẢN LÙNG LÚ, TỈNH HÀ GIANG

3.1. Hệ thống cấp nước bản Lùng Lú

Bản Lùng Lú nằm ở phía bắc thị trấn Đồng Văn, tỉnh Hà Giang. Bản này nằm ở độ cao 1220m so với mực nước biển và cách thị trấn 1200m di chuyển đường bộ, với số hộ dân của Bản và vùng lân cận khoảng 320 nhân khẩu. Theo TCVN 33: 2006 (Bộ xây dựng, 2006), lượng nước tiêu thụ là 60 (l/người.ngày). Do đó nhu cầu dùng nước tính toán của của khu vực là 19.2m³/ngày. Theo thông tư 06/2021/TT-BXD (Bộ xây dựng, 2021), Công trình có cấp xây dựng là cấp III tương ứng mức bảo đảm tính toán Ptk = 85%.

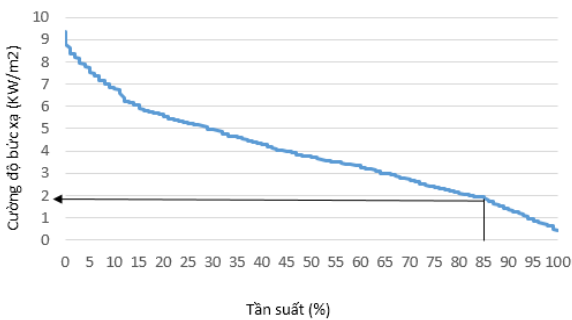
Nguồn cung cấp nước cho bản Lùng Lú được lấy từ bể chứa của hệ thống cấp nước của dự án Hợp tác phát triển Việt – Đức Kawatech. Đường ống cấp nước từ bể chứa đi Lùng Lú có chiều dài 1200m, đường kính ống DN50. Chênh cao độ từ

bể chứa đến điểm cấp nước là 51m. Bể trữ ở Lũng Lú được thiết kế với dung tích 30m³.



Hình 5. Sơ đồ hệ thống PVPS Lũng Lú

3.2. Xác định cường độ bức xạ tính toán
 Bản Lũng Lú có tọa độ địa lý 23°17'N, 105°21'E. Sử dụng phần mềm PV System ta xác định được cường độ bức xạ trung các ngày trong năm. Từ đó tiến hành vẽ được đường tần suất bức xạ trung bình ngày. Kết quả thể hiện như trong hình 6.



Hình 6. Đường tần suất tổng xạ trung bình ngày

Ứng với mức bảo đảm $P_{tk} = 85\%$, tổng xạ trung bình ngày là 1.95(kW/m²). Ngày điển hình được chọn có tổng xạ trung bình ngày tương ứng là ngày 09/11/2021. Bức xạ trung bình từng giờ tính quy đổi sang mặt nghiêng của tấm pin được cho trong Bảng 1.

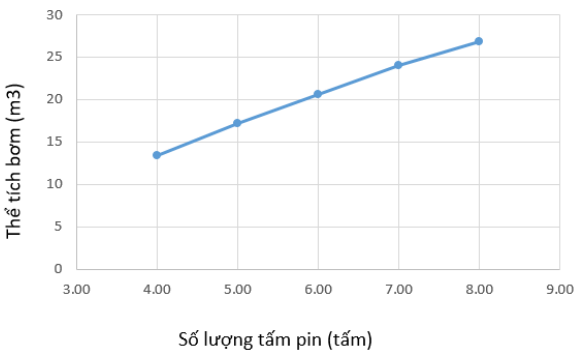
Bảng 1. Cường độ bức xạ ngày điển hình

Thời gian (Giờ)	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00
Tổng xạ mặt nghiêng (W/m ²)	0	2.8	134.7	200.6	270.59
Thời gian (Giờ)	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00
Tổng xạ mặt nghiêng (W/m ²)	299.0	310.9	319.1	284.9	227.1
Thời gian (Giờ)	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00
Tổng xạ mặt nghiêng (W/m ²)	145.8	54.17	0.1	0.0	0.0

3.3. Kết quả tính toán

Tính toán cho hệ thống PVPS Lũng Lú với các thông số như sau: Pin mặt trời có hiệu suất chuyển đổi điện 18%; Góc nghiêng $\beta=10^\circ$; Hướng chính Nam $\gamma=0$; Diện tích 1 tấm pin $A_{PV}=2,0m^2$; Công suất của tấm pin là 300Wp; Máy bơm được lựa chọn là loại máy bơm li tâm chìm dùng dòng điện AC, công suất động cơ bơm là 840W, hiệu suất của hệ thống là 67%, cột nước bơm kể cả tổn thất là $H=58m$. Nhu cầu dùng nước trong ngày là 19,2m³.

Kết quả tính toán tổng lượng nước bơm của ngày điển hình cho các phương án số lượng tấm pin là $n = 5, 6, 7, 8$ (tấm pin) được cho trong hình 7.



Hình 7. Tổng lượng nước bơm với các phương án số lượng tấm pin.

Kết quả tính toán cho thấy với số lượng tấm pin là 6 tấm, tổng lượng nước bơm được trong ngày là 20,58 m³ đáp ứng được nhu cầu dùng nước trong ngày. Do vậy lựa chọn số lượng tấm

pin cho hệ thống cấp nước Lũng Lú là 6 tấm. Công suất máy bơm là 840W. Máy bơm có lưu lượng $Q_{\max} = 1.0$ (l/s), $Q_{\min} = 0.1$ (l/s).

Bảng 2. Kết quả tính toán cấp nước ngày điển hình

T (giờ)	$I_T(W/m^2)$	Nb(W)	Q(l/s)	V(m^3)
6:00	2.89	5.73	0.00	0.00
7:00	134.76	267.80	0.34	1.23
8:00	200.69	398.82	0.51	1.84
9:00	270.59	537.73	0.69	2.48
10:00	299.07	594.31	0.76	2.74
11:00	310.96	617.93	0.79	2.85
12:00	319.13	634.18	0.81	2.92
13:00	284.95	566.25	0.72	2.61
14:00	227.14	451.38	0.58	2.08
15:00	145.76	289.66	0.37	1.33
16:00	54.17	107.65	0.14	0.50
17:00	0.00	0.01	0.00	0.00
Tổng cộng				20.58

Trong những giờ có cường độ bức xạ mặt trời lớn vượt quá công suất tiêu thụ của máy bơm thì bộ điều khiển sẽ tự động giảm công suất của hệ thống để cân bằng với công suất định mức của máy bơm. Khi cường độ bức xạ yếu, không đảm bảo bơm nước với lưu lượng $Q_{\min}$ của máy bơm, hệ thống sẽ tự động ngắt nguồn vào máy bơm.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- QCVN 04 - 05 : 2012/BNNPTNT - *Các quy định chủ yếu về thiết kế công trình Thủy lợi.*
- TCXDVN 33:2006 *Cấp nước – Mạng lưới đường ống và công trình - Tiêu chuẩn thiết kế*
- Thông tư số 06/2021/TT-BXD: *Quy định về phân cấp công trình xây dựng và hướng dẫn áp dụng trong quản lý hoạt động đầu tư xây dựng.*
- Karl institute of Technology, 2020, *Photovoltaic-based Pumping System (PVPS) for the Village of Lung Lu.*
- Uppsala University, 2019, *Solar Radiation Theory.*
- Center Sandia National Laboratories. *Water pumping: The solar alternative. In: Presentations of the photovoltaics: Investing in development conf.* May 1987.

Từ kết quả bảng tính tổng lượng nước bơm ngày điển hình cho thấy các thông số của hệ thống PVPS được chọn đảm bảo cung cấp đầy đủ nước trong ngày cho khu vực theo quy định. Do đó việc lựa chọn các thông số về số lượng, công suất tấm pin và công suất máy bơm là hợp lý.

4. KẾT LUẬN

Hệ thống bơm sử dụng năng lượng mặt trời PVPS là hệ thống sử dụng độc lập và không phụ thuộc vào nguồn năng lượng bên ngoài. Hệ thống PVPS thích hợp cho các dự án cấp nước sinh hoạt cũng như phục vụ tưới cho nông nghiệp tại các khu vực vùng sâu, vùng xa nơi chưa có hệ thống lưới điện quốc gia.

Bài báo đã xây dựng được cơ sở khoa học tính toán công suất, lưu lượng bơm dựa vào mối tương quan giữa cường độ bức xạ mặt trời và chế độ làm việc của máy bơm. Đồng thời cũng đưa ra được cơ sở khoa học để lựa chọn dữ liệu cường độ bức xạ mặt trời phục vụ cho tính toán thiết kế hệ thống PVPS.

Thông qua ví dụ tính toán hệ thống PVPS cấp nước cho bản Lũng Lú của tỉnh Hà Giang, bài báo đã cụ thể hoá các bước tính toán xác định số lượng, công suất của tấm pin năng lượng mặt trời cũng như công suất và lưu lượng bơm để đảm bảo cung cấp đủ nước theo yêu cầu.

Abtrast:
**THE STUDY ON CALCULATION METHODS TO DETERMINATE BASIC
PARAMETERS OF PHOTOVOLTAIC PUMPING SYTEM (PVPS)
SUPPLYING WATER FOR REMOTE AREAS**

The life of ethnic minority communities in remote areas is still difficult. Water and power supply for domestic use is still inadequate, especially the water source for daily use. When the infrastructure has not been invested, grid electricity has not reached these areas, Photovoltaic Pumping System (PVPS) is an effective solution. Currently, in Vietnam, the PVPS system is almost not applied because there is no scientific basis for calculation and design of this system. This paper provides a scientific basis for calculating the capacity as well as the flow rate of the solar pumping system. The study was applied to calculate the PVPS system supplying domestic water for Lung Lu villages in Ha Giang province.

Keywords: Photovoltaic Pumping System (PVPS), solar radiation intensity, water supply.

Ngày nhận bài: 15/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 07/3/2023