

## Phương pháp, thuật toán và phần mềm xác định tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly của máy vô tuyến điện sóng ngắn

Nguyễn Minh Giảng\*, Tạ Hoài Nam

Khoa Vô tuyến điện tử, Học viện Kỹ thuật quân sự

\*Email: nmgiang44@gmail.com.

Nhận bài ngày 20/9/2021; Hoàn thiện ngày 08/01/2022; Chấp nhận đăng ngày 10/4/2022.

DOI: <https://doi.org/10.54939/1859-1043.j.mst.78.2022.68-77>

### TÓM TẮT

Bài báo trình bày phương pháp, thuật toán và phần mềm tính toán tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly của máy vô tuyến điện sóng ngắn. Phương pháp tính toán cho phép nâng cao độ chính xác trong tính toán giá trị tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly nhờ xét đến tính không đồng nhất của tầng điện ly đến đặc tính truyền lan của sóng ngắn vô tuyến. Kết quả kiểm tra thực nghiệm cho thấy phần mềm cho kết quả tính toán có độ chính xác cao và thời gian tính toán nhanh. Xác suất liên lạc thành công khi sử dụng tần số được tính toán bởi phần mềm là 78%. Khi sử dụng thêm 2 tần số phụ thì xác suất liên lạc thành công đạt 92%.

**Từ khóa:** Truyền sóng vô tuyến; Tần số áp dụng cực đại; Tần số làm việc tối ưu; Tầng điện ly.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Liên lạc sóng ngắn (tần số từ 3 đến 30 MHz) ngày nay giữ một vai trò quan trọng trong thông tin quân sự và dân sự. Liên lạc sóng ngắn thường được sử dụng cho phát thanh, liên lạc cho tàu thuyền trên biển, liên lạc trên máy bay, hải quân và những nơi có địa hình khó tiếp cận. Máy phát sóng ngắn có thể truyền thông tin đi cự ly xa tới vài nghìn km với công suất của máy phát nhỏ cỡ vài chục W nhờ khả năng phản xạ của sóng ngắn ở tầng điện ly. Quá trình tính toán để xây dựng đường truyền liên lạc bằng sóng điện ly đòi hỏi phải xác định được sự biến đổi trong ngày của tần số áp dụng cực đại (Maximum Usable Frequency – ký hiệu là MUF) cho đường truyền đó. Tần số áp dụng cực đại của một đường truyền là tần số lớn nhất mà sóng vô tuyến có thể truyền từ điểm phát đến điểm thu cho trước tại một thời điểm xác định thông qua phản xạ ở tầng điện ly và với các điều kiện cho trước của máy phát và máy như công suất phát, dạng anten, độ nhạy. Khi tần số làm việc được chọn càng gần với giá trị MUF thì cường độ điện trường tại điểm thu càng lớn, tuy nhiên, nếu như ta chọn tần số làm việc quá sát với giá trị MUF thì tín hiệu tại điểm thu sẽ không ổn định vì tầng điện ly là môi trường liên tục biến đổi và làm cho giá trị MUF cũng tăng giảm liên tục theo sự biến đổi đó. Do vậy, sẽ tồn tại một giá trị tần số làm việc tối ưu (ký hiệu OWF – Optimum Working Frequency) để vừa đảm bảo yếu tố chất lượng liên lạc và vừa đảm bảo độ ổn định của đường truyền. Tần số làm việc cần lựa chọn chính là tần số OWF này. Giá trị tần số OWF được tính toán dựa trên tần số áp dụng cực đại theo công thức thực nghiệm [1]:

$$OWF = 0.85.MUF \quad (\text{MHz}) \quad (1)$$

Như vậy, độ chính xác trong xác định giá trị tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly phụ thuộc vào độ chính xác trong xác định giá trị MUF.

Phương pháp xác định MUF theo cách truyền thống đó là ta đi xác định tọa độ điểm chính giữa của đường truyền khi biết tọa độ điểm phát và điểm thu, từ tọa độ điểm chính giữa đó ta xác định được giá trị MUF bằng bản đồ tra cứu tương ứng với thời gian tiến hành liên lạc. Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là sử dụng không thuận tiện vì phải thao tác trên bản đồ và không cho kết quả tính toán nhanh các giá trị MUF vì phải sử dụng các đồ thị tra cứu, bên cạnh đó phương pháp này có độ chính xác không cao do không xét đến sự biến đổi của tầng điện ly vào thời điểm tính toán. Các phương pháp tính toán mới hiện nay như [2-3] cho phép dự báo nhanh giá trị MUF thông qua sử dụng mô hình bán thực nghiệm của tầng điện ly để xác định các

tham số của của tầng điện ly và kết hợp với việc sử dụng các phương pháp tính toán MUF với sự trợ giúp của máy tính. Các phương pháp này cho phép tính toán MUF được thuận tiện. Tuy nhiên, các phương pháp tính MUF [2-3] chưa xét đến tính không đồng nhất của tầng điện ly, do đó trong điều kiện tầng điện ly không đồng nhất và nhiễu động thì sẽ cho sai số tính toán lớn. Ngoài ra, còn có các phương pháp tính toán MUF dựa trên việc dựng quỹ đạo của đường truyền sóng ngắn trong tầng điện ly theo phương pháp tích phân số hệ các phương trình tia [4-6]. Tuy nhiên, các phương pháp này có thuật toán phức tạp và đòi hỏi thời gian tính toán lâu. Do đó không phù hợp cho việc tính toán nhanh giá trị tần số làm việc để phục vụ cho việc triển khai liên lạc.

Do vậy, mục tiêu của nghiên cứu đó là phát triển phương pháp, thuật toán và xây dựng phần mềm cho phép tính toán nhanh và có độ chính xác cao các giá trị tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly của máy vô tuyến điện sóng ngắn là bài toán có tính cấp thiết.

Phần còn lại của bài báo được sắp xếp như sau: Mục 2 trình bày sơ lược về phương pháp tính toán tần số áp dụng cực đại và tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly có độ dài bất kỳ trong điều kiện tầng điện ly đồng nhất, làm cơ sở cho việc phát triển phương pháp tính đến sự không đồng nhất của tầng điện ly trong mục 3. Mục 4 trình bày về phần mềm được xây dựng để tính toán tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly. Trong mục 6 và 7 trình bày về đánh giá độ chính xác của phương pháp và phần mềm tính toán được xây dựng thông qua việc so sánh với các phương pháp khác và kiểm tra trên đường truyền thực tế. Cuối cùng, mục 7 trình bày kết luận của bài báo.

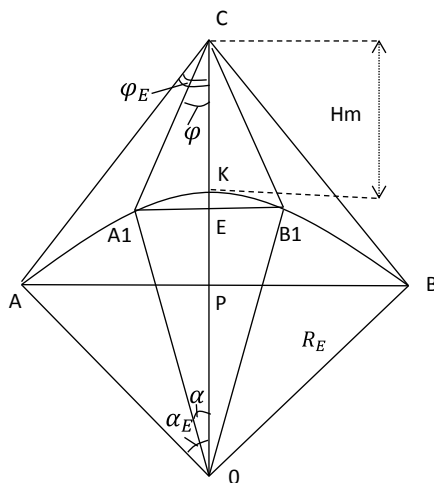
## **2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TẦN SỐ LÀM VIỆC CHO ĐƯỜNG TRUYỀN CÓ ĐỘ DÀI BẤT KỲ**

Phương pháp xác định giá trị MUF và OMF dựa trên định lý Tương đương và định lý Secant [7]. Theo đó, tia sóng truyền theo phương thẳng đứng và tia sóng truyền theo góc nghiêng  $\varphi$  so với phương thẳng đứng sẽ phản xạ tại cùng một độ cao nếu như tần số của tia truyền theo phương thẳng đứng  $f_v$  và tần số của tia truyền theo phương nghiêng  $f$  có mối quan hệ:

$$f = \frac{f_v}{\cos(\varphi)} \quad (2)$$

Từ biểu thức trên ta suy ra với một đường truyền cho trước thì  $f$  sẽ đạt giá trị cực đại khi  $f_v$  đạt giá trị lớn nhất, hay nói cách khác là khi  $f_v$  đạt tới giá trị tần số tới hạn của lớp phản xạ của tầng điện ly, ta ký hiệu là  $f_m F2$ . Do lớp F2 là lớp phản xạ chủ yếu của tầng điện ly nên ta sẽ nghiên cứu các tia sóng phản xạ tại lớp F2 này.

Để xác định giá trị MUF ta cần phải biết được các tham số của tầng điện ly tại điểm phát và điểm thu vào thời gian tiến hành tính toán. Dựa trên kết quả đo đạc của hệ thống các đài điện ly trên thế giới trong nhiều năm người ta có được cơ sở dữ liệu thống kê để xây dựng các mô hình bán thực nghiệm của tầng điện ly như các mô hình [8-10]. Từ các mô hình bán thực nghiệm này, ta có thể xác định được tần số tới hạn của lớp F2, hệ số truyền lan cho đường truyền phản xạ 1 lần ở lớp F2 có độ dài 3000 km, ký hiệu là M(3000)F2 khi biết các tham số đầu vào, đó là: vị trí địa lý, ngày, thời gian và hệ số Wolf (ký hiệu là W) - đặc trưng cho mức độ hoạt động của mặt trời vào thời gian tiến hành liên lạc. Các mô hình của tầng điện ly khác nhau bởi số lượng, dạng của các hàm xấp xỉ và các hệ số xấp xỉ mà nó sử dụng. Trong công trình này, tác giả sử dụng mô hình [8] do nó đảm bảo đồng thời 2 yếu tố đó là cho kết quả tính toán các tham số của tầng điện ly với sai số cho phép và đã được kiểm nghiệm bởi các nghiên cứu trước đó, đồng thời cho thời gian tính toán nhanh với thời gian thực.



**Hình 1.** Phản xạ của sóng vô tuyến ở tầng điện ly với đường truyền có độ dài  $D$  (đường  $A_1B_1$ ) và đường truyền có độ dài 3000 km (đường  $AB$ ).

Đối với đường truyền có độ dài 3000 km, giá trị MUF được xác định theo biểu thức (hình 1):

$$MUF(3000) = \frac{f_m F_2}{\cos(\varphi_E)} = M(3000)F_2 \cdot f_m F_2 \text{ (MHz)} \quad (3)$$

Trong đó,  $f_m F_2$  và  $M(3000)F_2$  được xác định tại điểm giữa của đường truyền,  $\varphi_E$  là góc nghiêng tạo bởi tia sóng AC khi phản xạ ở tầng điện ly với phương thẳng đứng (tia CO). Bề mặt trái đất ta coi như có dạng cong, tâm trái đất đặt tại điểm O.

Để xác định giá trị của MUF cho đường truyền có độ dài  $D$  bất kỳ ta tiến hành như sau: Giả sử AB là đường truyền có độ dài 3000 km và  $A_1B_1$  là đường truyền có độ dài  $D$  với  $D \leq 3000$  km, hai đường truyền này được bố trí sao cho có trung điểm trùng nhau. Với điều kiện trên, ta có thể giả thiết tia truyền từ A đến B với tần số  $f = MUF(3000)$  và từ  $A_1$  đến  $B_1$  với tần số  $f = MUF(D)$  phản xạ tại cùng một điểm cao là C. Áp dụng biểu thức (3) để xác định MUF(D) cho đường truyền  $A_1B_1$  ta có:

$$MUF(D) = \frac{f_m F_2}{\cos(\varphi)} \quad (4)$$

Trong đó,  $\varphi$  là góc nghiêng tạo bởi tia sóng  $A_1C$  khi phản xạ ở tầng điện ly với phương thẳng đứng. Hai biểu thức (3) và (4) có cùng giá trị  $f_m F_2$  do được tính tại cùng trung điểm của 2 đường truyền. Để xác định  $MUF(D)$  ta cần đi tính giá trị góc  $\varphi$ . Theo hình 1, ta ký hiệu:  $OA = OK = OB = R_E$  là độ dài bán kính trái đất và bằng 6370 km,  $\angle AOC = \alpha_E = \frac{3000}{2 \cdot R_E}$ ,

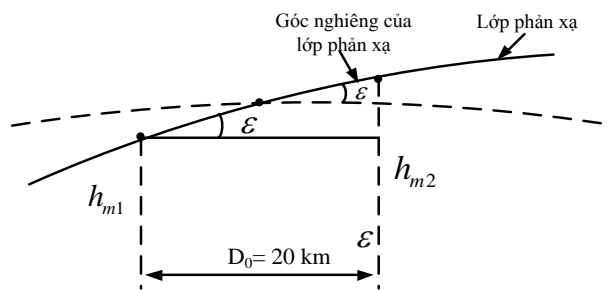
$$\angle A_1OC = \alpha = \frac{D}{2 \cdot R_E}, \quad \angle ACO = \varphi_E, \quad \angle A_1CO = \varphi$$

Từ hình 1 ta tính được:

$$\tan(\varphi) = \frac{\sin(\alpha)}{\frac{\sin(\alpha_E)}{\tan(\varphi_E)} + \cos(\alpha_E) - \cos(\alpha)} \quad (5)$$



Ta gọi  $\varepsilon$  là góc nghiêng của mặt phản xạ do chênh lệch về độ cao của lớp phản xạ  $h_m$  của tầng điện ly tại điểm phát và điểm thu gây nên (hình 3).



Hình 3. Xác định góc nghiêng của lớp phản xạ.

Lúc này, góc nghiêng của mặt phản xạ  $\varepsilon$  sẽ được tính bằng biểu thức:

$$\tan(\varepsilon) = \frac{h_{m2} - h_{m1}}{D_0} \quad (9)$$

Trong đó,  $h_{m2}$  và  $h_{m1}$  là độ cao của lớp phản xạ của tầng điện ly tại các điểm cách điểm chính giữa của đường truyền một khoảng cách bằng nhau về 2 phía. Ta lựa chọn khoảng cách này là 10 km.

Nếu gọi  $\alpha_T$  là góc dịch chuyển điểm phản xạ khỏi điểm chính giữa của đường truyền, ta có mối liên hệ sau [11]:

$$\alpha_T = \tan(\varepsilon) \cdot \frac{|1 + A_0^2 - 2 \cdot A_0 \cdot \cos(\alpha)|}{A_0 \cdot \cos(\alpha) - 1} \quad (10)$$

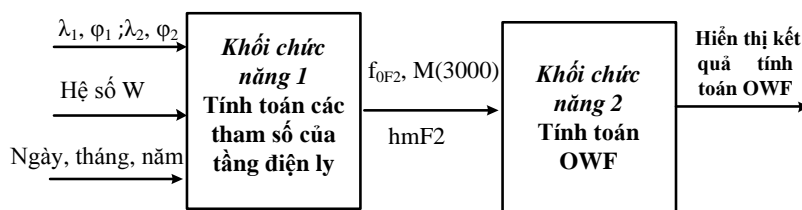
$$\tan(\varphi) \approx \frac{\sin(\alpha) \cdot \cos(\alpha_T)}{A_0 - \cos(\alpha) \cdot \cos(\alpha_T)} \quad (11)$$

Trong đó:  $A_0 = 1 + \frac{h_0}{R_E}$ ,  $\alpha = \frac{D}{2R_E}$ ,  $h_0$  - Độ cao của lớp phản xạ tại điểm chính giữa của đường truyền.

Như vậy, từ (9), (10) và (11) ta xác định được giá trị góc phản xạ  $\phi$ , và từ biểu thức (8) và (1) ta tính được giá trị MUF và OWF trong điều kiện tầng điện ly không đồng nhất theo phương truyền sóng.

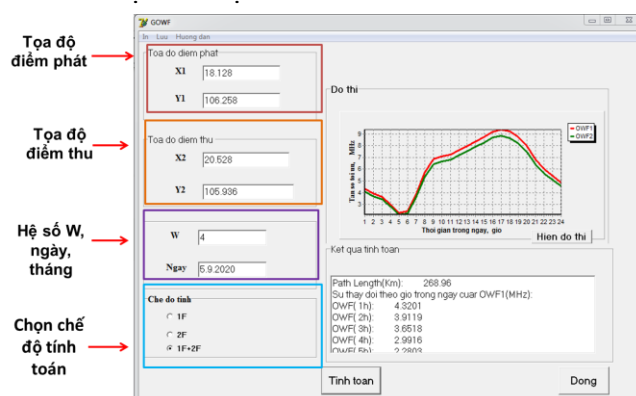
#### 4. XÂY DỰNG PHẦN MỀM TÍNH TOÁN TẦN SỐ LÀM VIỆC CHO ĐƯỜNG TRUYỀN SÓNG ĐIỆN LY

Trên cơ sở phương pháp tính toán được trình bày ở phần trước, tác giả đã xây dựng phần mềm tính toán tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly với tên gọi “GOWF”. Sơ đồ khối của Phần mềm được thể hiện ở hình dưới.



Hình 4. Sơ đồ khối của chương trình phần mềm.

Giao diện của phần mềm được thể hiện ở hình bên dưới.



**Hình 5.** Giao diện của phần mềm tính toán tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly.

Dữ kiện đầu vào để tính toán bao gồm: Tọa độ địa lý của điểm phát, điểm thu; ngày; hệ số Wolf. Sau khi nhập đầy đủ các tham số đầu vào và chạy chương trình, khối chức năng 1 sẽ tính toán các tham số của tầng điện ly vào thời gian và ngày đã được nhập dựa theo mô hình bán thực nghiệm của tầng điện ly [8]. Kết quả đầu ra của Khối chức năng 1 sẽ là tần số tới hạn của lớp F2, hệ số M(3000)F2 và độ cao của lớp phản xạ  $h_{mF2}$ . Các kết quả tính toán này sẽ được đưa vào Khối chức năng 2 để tính toán các giá trị MUF và OWF cho đường truyền sóng điện ly theo phương pháp trình bày ở phần 3.

Kết quả tính toán được hiển thị dưới dạng đồ thị và bảng số liệu thể hiện giá trị tần số làm việc tương ứng với từng giờ trong ngày. Kết quả tính toán có thể lưu lại dưới dạng file “.text” để phục vụ cho việc sử dụng lâu dài. Phần mềm cho thời gian tính toán trong thời gian dưới 10 giây. Có thể cài đặt để sử dụng trên máy tính có cấu hình thông thường (RAM  $\geq$  4GB, CPU: Intel Core i3-4005U (1.7 Ghz/3MB bộ nhớ đệm/2 nhân, 4 luồng hoặc cao hơn).

### 5. SO SÁNH ĐỘ CHÍNH XÁC CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN TẦN SỐ LÀM VIỆC CHO ĐƯỜNG TRUYỀN SÓNG ĐIỆN LY

Để đánh giá kết quả tính toán tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly bằng phương pháp tính toán được xây dựng, ta tiến hành tính toán giá trị OWF cho 3 đường truyền: Xabarovsk – Irkutsk, Norilsk – Irkutsk và Magadan – Irkutsk theo phương pháp trình bày trong bài báo và các phương pháp trước đó [2-3], sau đó so sánh với kết quả đo giá trị OWF trên các đường truyền trên được thực hiện bởi các nhà khoa học tại Nga [12]. Để đo giá trị OWF, ta cần có giá trị đo MUF, sau đó nhân giá trị MUF với hệ số thực nghiệm 0.85. Kết quả đo thu được qua số liệu đo đạc của các trạm thăm dò tầng điện ly đặt tại Irkutsk, Norilsk và Khabarovsk.

Dữ liệu đầu vào để tính toán giá trị OWF như sau: thời gian – ngày 17.03.2015; hệ số Wolf đặc trưng cho bức xạ của mặt trời vào thời điểm tính toán – 62 theo số liệu quan trắc [13]; Tọa độ địa lý của các trạm phát và trạm thu.

Ta tiến hành tính toán tần số làm việc cho các đường truyền sóng điện ly vào các giờ trong ngày 17.3.2015 và so sánh với kết quả đo tại công trình [12]. Các đài điện ly được sử dụng để đo là các đài thăm dò thẳng đứng và các đài thăm dò xiên. Khoảng cách thời gian giữa các lần đo là 5 phút. Miền tần số của tín hiệu thăm dò trong khoảng từ 4 đến 30 MHz. Tốc độ dịch chuyển tần số là 500 KHz/s. Sai số của thiết bị đo là 100 KHz. Các đài điện ly thực hiện đo tự động với khoảng thời gian giữa các lần đo là 5 phút, do vậy, trong ngày nó thực hiện được 288 lần đo cho mỗi đường truyền, ta sử dụng kết quả đo trên 3 đường truyền nên sẽ có tất cả 864 điểm đo.

Sai số tính toán được đánh giá qua tham số RMSE (*Root mean square error: Sai số trung bình bình phương*). Tham số RMSE được xác định theo biểu thức:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (OWF_{E_i} - OWF_i)^2}{n}} \quad (12)$$

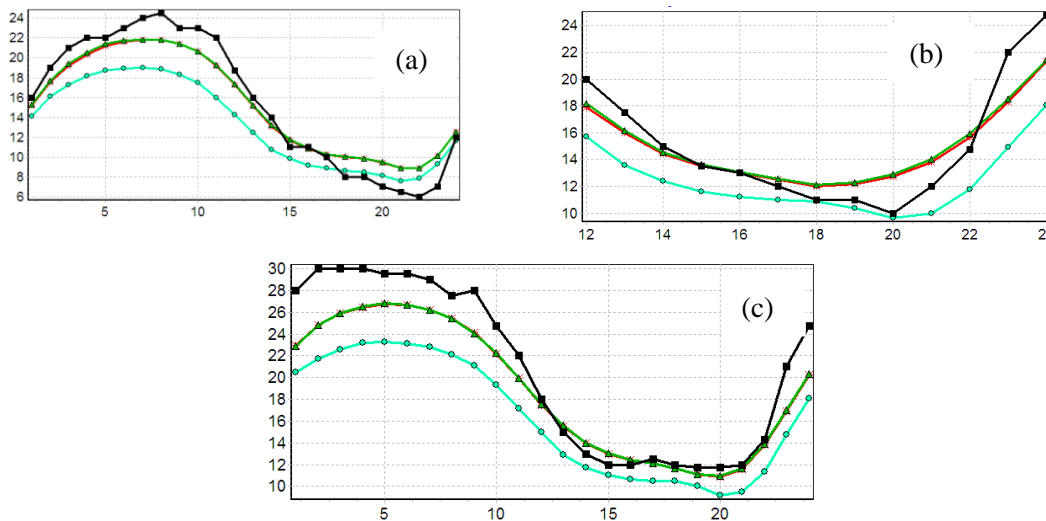
Trong đó,  $OWF_{E_i}$  và  $OWF_i$  tương ứng là kết quả đo và kết quả tính toán giá trị OWF vào thời gian “ i ” trong ngày và có đơn vị là MHz. Giá trị RMSE càng nhỏ thì kết quả tính toán càng sát với kết quả thực nghiệm.

Sai số trung bình bình phương giữa kết quả đo và kết quả tính OWF cho các đường truyền sóng điện ly được thể hiện ở bảng 1.

**Bảng 1.** Sai số trung bình bình phương giữa kết quả tính toán và kết quả đo OWF.

Đường truyền	Phương pháp trong bài báo	Phương pháp [2]	Phương pháp [3]
Xabarovsk–Irkutsk	2.7	2.71	5.0
Norilsk – Irkutsk	1.81	1.84	3.38
Magadan – Irkutsk	2.38	2.42	4.4

Đồ thị thể hiện kết quả tính toán và kết quả đo giá trị tần số làm việc tương ứng với các giờ trong ngày 17.3.2015 cho các đường truyền Norilsk – Irkutsk, Magadan– Irkutsk và Xabarovsk-Irkutsk được thể hiện ở hình 6.



**Hình 6.** Kết quả tính toán và đo đặc giá trị tần số làm việc tương ứng với các giờ trong ngày 17.3.2015 cho các đường truyền Norilsk – Irkutsk (a), Magadan– Irkutsk (b), Xabarovsk - Irkutsk (c).

Trên các đồ thị của hình 6 ta ký hiệu như sau: Đường có các điểm hình vuông, màu đen thể hiện kết quả đo; đường có các điểm hình sao, màu đỏ là kết quả tính toán theo phương pháp trong bài báo; đường có các điểm tam giác, màu xanh lá – tính toán theo phương pháp [2]; đường có các điểm hình tròn, xanh da trời là kết quả tính toán theo phương pháp [3].

Từ bảng số liệu 1 và hình 6 ta thấy, phương pháp trình bày trong bài báo cho kết quả tính toán chính xác hơn các phương pháp [2-3]. Trong đó, so với phương pháp [3] thì độ chính xác của phương pháp trong bài báo tăng lên rõ rệt, so với phương pháp [2] thì độ chính xác tăng nhẹ. Các đường truyền được xét ở trên là các đường truyền phân xạ 1 lần ở tầng điện ly. Đối với các

đường truyền phản xạ nhiều lần ở tầng điện ly (2 hoặc 3 lần) thì chênh lệch về độ chính xác tính toán giữa phương pháp trong bài báo và các phương pháp [2-3] sẽ càng tăng lên vì khi đó ảnh hưởng của sự không đồng nhất của tầng điện ly đến sự truyền lan của sóng vô tuyến cũng sẽ tăng lên theo.

## **6. THỬ NGHIỆM TẦN SỐ LÀM VIỆC TRÊN CÁC ĐƯỜNG TRUYỀN SÓNG ĐIỆN LY**

Để kiểm tra hiệu quả liên lạc trên các tần số được tính toán bằng phần mềm, ta tiến hành thử nghiệm trên các đường truyền liên lạc bằng máy vô tuyến điện sóng ngắn (VTĐsn). Quá trình thử nghiệm diễn ra làm 2 đợt:

Đợt 1: Tiến hành trong 2 ngày, từ 16.9 đến 17.9.2020 cho đường truyền từ Kỳ Anh (Hà Tĩnh) tới Phú Lý (Hà Nam).

Đợt 2: Tiến hành trong 2 ngày, từ 25 đến 26.11.2020 cho đường truyền từ Kỳ Anh (Hà Tĩnh) tới Sơn Tây (Hà Nội).

Quá trình thử nghiệm được thực hiện tại các giờ khác nhau trong ngày. Mỗi giờ thực hiện liên lạc thoại trong 30 phút kết hợp với truyền bản tin. Chất lượng đường truyền được đánh giá theo thang điểm 5. Cụ thể như sau:

- + Điểm 1: Tín hiệu nghe rất nhỏ, không rõ nội dung, nhiễu và tạp âm lớn.
- + Điểm 2: Tín hiệu nghe lúc to, lúc nhỏ, nền nhiễu nhiều.
- + Điểm 3: Tín hiệu nghe rõ nội dung, có lúc nhiễu nhưng vẫn làm việc được.
- + Điểm 4: Tín hiệu nghe rõ, tạp âm, nhiễu nhỏ.
- + Điểm 5: Tín hiệu nghe to, rõ, tạp âm và nhiễu rất nhỏ.

Chất lượng đường truyền đạt từ 3 điểm trở lên là có thể liên lạc được. Mỗi đợt thử nghiệm đều gồm có tổ gồm 3 người đánh giá và kết quả đánh giá được xác nhận của tổ. Sơ đồ kết nối thiết bị để thử nghiệm được thể hiện ở hình 7.



**Hình 7.** Kết nối thiết bị để thử nghiệm.

Các tham số của thiết bị thu phát như sau: Máy vô tuyến điện sóng ngắn có công suất phát 20 W, chế độ phát điều chế đơn biên (SSB), sử dụng anten 2 cực căng ngang, liên lạc theo hướng Nam – Bắc.

Trong lần thử nghiệm 1, ta tiến hành 18 phiên liên lạc, tại mỗi phiên liên lạc ta chỉ sử dụng 1 tần số được tính toán bằng Phần mềm. Trong lần thử nghiệm thứ 2, ta tiến hành 37 phiên liên lạc, tại mỗi phiên liên lạc ta sử dụng 1 tần số chính được tính toán bằng phần mềm và 2 tần số dự bị, có giá trị cao hơn và thấp hơn 0.5 MHz so với tần số chính. Trong trường hợp tần số chính không liên lạc được thì sẽ lần lượt thử qua từng tần số phụ.

Để đánh giá độ chính xác của Phần mềm, ta tính xác suất liên lạc thành công khi sử dụng tần số liên lạc được tính bằng Phần mềm, ký hiệu là X. Ta xác định X theo biểu thức:

$$X = \frac{N}{M} \cdot 100\%$$

Trong đó, N là tổng số giờ mà đường truyền liên lạc được, M là tổng số giờ thực hiện thử nghiệm trên đường truyền đó.

Từ kết quả thử nghiệm trong 2 đợt, ta có các nhận xét sau:

Với đường truyền từ Hà Tĩnh đến Hà Nam, ta đạt được xác suất liên lạc thành công là 78% với 14/18 phiên liên lạc thành công, chất lượng liên lạc đều đạt 4 và 5 điểm. Trong lần thử nghiệm thứ 2 cho đường truyền từ Hà Tĩnh đến Sơn Tây, ta có xác suất thực hiện liên lạc thành công là 92%. Trong đó có 34 phiên liên lạc được trên tổng số 37 phiên thực hiện, trong đó chất lượng liên lạc đạt điểm 5 là 6/37 chiếm 16.2%, điểm 4 là 13/37 chiếm 35.1%, đạt 3 điểm 15/37 chiếm 40.5%.

Sử dụng Phần mềm cho phép xác định nhanh tần số làm việc cho mỗi phiên liên lạc với thời gian tính toán nhỏ hơn 10 giây. Trong khi đó, với phương pháp dò tần số thông thường hoặc dò tự động (chế độ ALE của máy VRS -631) có thể mất từ 2 đến 5 phút để thiết lập được đường truyền liên lạc. Việc rút ngắn được thời gian dò tần số này có ý nghĩa quan trọng trong việc đảm bảo thông tin liên lạc quân sự.

## 7. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày kết quả nghiên cứu phương pháp, thuật toán xác định tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly khi xét đến ảnh hưởng của sự không đồng nhất của tầng điện ly đến đặc tính truyền lan của sóng vô tuyến. Trên cơ sở đó, đã xây dựng phần mềm tính toán tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly của máy vô tuyến điện sóng ngắn. Kết quả đánh giá thực nghiệm cho thấy, phần mềm được xây dựng cho kết quả tính toán tần số làm việc cho đường truyền sóng điện ly với thời gian tính toán nhanh và có độ chính xác cao, trong đó xác suất liên lạc thành công đạt 78% nếu dùng 1 tần số liên lạc được tính toán bằng phần mềm, đạt 92% nếu dùng thêm 2 tần số liên lạc phụ có tần số cao hơn và thấp hơn giá trị tính toán 0.5 MHz.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. A.A. Куликовский. “Справочник по теоретическим основам радиоэлектроники”. –М.: Энергия, 1977.- 505 с.
- [2]. A.A. Васенина, “Прогнозирование максимально-применимых частот КВ-радиолиний по данным вертикального зондирования ионосферы,” Научный вестник НГТУ, № 4 (2014), С. 79 – 88.
- [3]. ITU-R methods of basic MUF, operational MUF and ray-path prediction, International Telecommunication Union, 2008, ITU-R, Recommendation P.1240-1.
- [4]. Penzin, M., Pyin, N.V., Ponomarchuk, S. (2017), “Advanced model of HF radio waves propagation based on normal wave method,” 2017 Progress In Electromagnetics Research Symposium - Spring (PIERS), pp.1291-1297.
- [5]. Barabashov, B. G., M. M. Anishin, and O. Y. Pelevin (2006), “Mathematical space-time model of a sky wave radio field,” Radio Sci., № 41, RS5S42, doi:10.1029/2005RS003332.
- [6]. Сажин В.И. Моделирование на ЭВМ распространения радиоволн в регулярной ионосфере. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та.- 1993, 40 с.
- [7]. Davies, K. Ionospheric radio. London, United Kingdom: The Institution of Engineering and Technology, 1990. – 580 p.
- [8]. A simple HF propagation method for MUF and field strength: Document CCIR 6/288. – CCIR XVI-th Plenary Assembly. – Dubrovnik, 1986. – 34 p.
- [9]. D. Bilitza, “IRI the International Standard for the Ionosphere,” Adv. Radio Sci., №16 (2018), pp.1-11.
- [10]. Brunini, C., Azpilicueta, F., Janches, D., 2014., “An Attempt to establish a statistical model of the day-to-day variability of the NmF2 and hmF2 parameters computed from IRI,” Adv. Space Res. 55 (8), pp.2033–2040.

- [11]. Агарышев А.И., Агарышев В.А. Прогнозирование характеристик дальнего распространения радиоволн в неоднородной ионосфере: монография. – Иркутск: Иркутский филиал МГТУ ГА, 2018. – 303 с.
- [12]. N.M. Polekh, N.A. Zolotukhina, E.B. Romanova, S.N. Ponomarchuk, V.I. Kurkin, A.V. Podlesnyi. "Ionospheric Effects on Magnetospheric and Thermospheric Disturbances on March 17 – 19, 2015," *Geomagnetism and Aeronomy*, Vol. 56, N<sup>o</sup> 5 (2016), pp. 557–571.
- [13]. <http://meteo-dv.ru/geospace/AverageMonthW>.

#### ABSTRACT

##### **Method, algorithm, and calculation program for determining working frequencies of ionospheric radio links of shortwave transceivers**

*In this paper, a method, algorithm, and calculation program are presented to calculate the working frequency for the transmission lines of skywaves. The calculation method allows for improving the accuracy in determining the working frequency by taking into account the inhomogeneities of the ionosphere. The experimental validations showed that the developed program gives high accuracy with and fast calculation time. The probability of successful communication using frequencies calculated by the program is 78%. When using 2 additional frequencies, the probability of successful communication reaches 92%.*

**Key Words:** Radio propagation; Maximum usable frequency; Optimum working frequency; The ionosphere.