

ՌԱԴԻՈԷԼԵԿՏՐՈՆԻԿԱ

ՀՏԴ 520.622

DOI: 10.54503/0321-1339-2025.125.1-22

Ա.Գ. Ղույան, Ն.Դ. Եզակյան

Աղմկային ջերմաստիճանի չափման սխալանքի նվազեցման ռադիոաստղագիտական եղանակ

(Ներկայացված է ՀՀ ԳԱԱ ակադեմիկոս, ֆիզմաթ. գ.դ. Ա. Ղույանի կողմից
11/XI 2024)

Բանալի բառեր. անհամաձայնություն, աղմկային ջերմաստիճան,
վերանորոգարձում, սխալանք:

Ներածություն: Անտենայի բնութագրերի չափումն ու գնահատումը
գործնականում պարտադիր ընթացակարգեր են:

Անտենայի տրամագծերի ավելացումը և աշխատանքային հաճա-
խականության աճը հանգեցրել են անտենայի բնութագրերի ուսումնա-
սիրության նոր եղանակների մշակման [4, 6, 8]: Բնական հաղորդիչ-
ներն առկա են ռադիոաստղագիտության մեջ և հնարավոր է օգտագոր-
ծել, քանի որ հեռու են անտենաներից [1, 4, 9]:

Խնդրի դրվածքը և մեթոդաբանության հիմնավորումը. Նկարա-
գրված են անտենայի բնութագրերի չափման երկրային եղանակները
[2, 4, 5, 7]՝ հիմնված վերգետնյա վերահաղորդիչների օգտագործման
վրա, և հիմնականում անբավարար են անտենաների բնութագրերի
չափման համար:

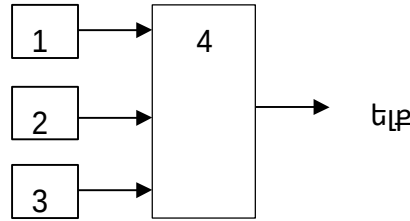
Քանի որ օգտագործվում են վերերկրային ռադիոաղբյուրներ, ան-
հրաժեշտ է օգտագործել զգայուն սարքավորումներ: Ռադիոալիքները
գնահատելու համար անհրաժեշտ է մշակել ալգորիթմներ և ծրագրեր՝
նվազեցնելու անհամաձայնությունները համակարգում [1, 4, 5]:

Հետազոտության արդյունքները: Անտենայի աղմկային ազդանշա-
նի հզորությունը որոշվում է համապատասխան համարժեք աղմկային
ջերմաստիճանով [9, 10]: Աղմկային ազդանշանի հզորությունը չափ-
վում է մեկ և երկու հայտնի աղմկային աղբյուրների հզորությունների

համեմատությամբ (նկ. 1): Չափված և համեմատվող աղմուկի աղբյուրները, հերթափոխով միացնելով և գրանցելով, անհայտ ջերմաստիճանի $T_{\text{աղ}}$ համար մենք ստանում ենք հետևյալ արտահայտությունը.

$$T_{\text{աղ}} = (1 - \alpha) T_1 + \alpha T_2, \quad (1)$$

որտեղ T_1, T_2 -ը համեմատվող աղմկային աղբյուրների ջերմաստիճաններն են, իսկ α -ն՝ չափագուրկ գործակիցը:



Նկ. 1. Չափման սխեման, 1, 2, 3 – նմուշային և չափված աղմկային աղբյուրներ, 4 – շրջանառիչ

Նվազագույն սխալներ ապահովելու համար անհրաժեշտ է ընտրել համեմատվող $T_{\text{աղ}}$ աղմկային աղբյուրներն այնպես, որ (2) պայմանը բավարարվի.

$$T_1 < T_{\text{աղ}} < T_2. \quad (2)$$

Այնուամենայնիվ, ռադիոմետրի մուտքում առկա են հզորության վերաարտացոլումներ: Նշենք աղմկային աղբյուրի արտացոլման կոմպլեքս գործակիցները՝ $\Gamma_{\text{աղ}} = |\Gamma_{\text{աղ}}|e^{-j\varphi_{\text{աղ}}}$ և ռադիոմետրի մուտքի $\Gamma_{\text{մ}} = |\Gamma_{\text{մ}}|e^{-j\varphi_{\text{մ}}}$ համար, որտեղ Γ և φ արտացոլման գործակցի մոդուլն ու փուլն են [10].

$$T'_{\text{աղ}} = T_{\text{աղ}} \frac{(1 - |\Gamma_{\text{աղ}}|^2)(1 - |\Gamma_{\text{մ}}|^2)e^{-2\alpha l}}{1 + |\Gamma_{\text{աղ}}|^2|\Gamma_{\text{մ}}|^2e^{-4\alpha l} - 2|\Gamma_{\text{աղ}}||\Gamma_{\text{մ}}|\cos(2\beta l + \varphi_{\text{աղ}} + \varphi_{\text{մ}})}, \quad (3)$$

որտեղ $T'_{\text{աղ}}$ աղմուկի համարժեք ջերմաստիճանն է, α -ն՝ l երկարությամբ հաղորդման գծի կորուստը, և $\beta = 2\pi/\lambda$, իսկ λ -ն՝ ալիքի երկարությունը:

Ենթադրենք, որ գծում չկան կորուստներ ($\alpha=0$): (3)-ը կլինի.

$$T'_{\text{աղ}} = T_{\text{աղ}} \frac{(1 - |\Gamma_{\text{աղ}}|^2)(1 - |\Gamma_{\text{մ}}|^2)}{1 + |\Gamma_{\text{աղ}}|^2|\Gamma_{\text{մ}}|^2 - 2|\Gamma_{\text{աղ}}||\Gamma_{\text{մ}}|\cos(2\beta l + \varphi_{\text{աղ}} + \varphi_{\text{մ}})}. \quad (4)$$

$\Gamma_{\text{աղ}}$ և $\Gamma_{\text{մ}}$ արտացոլման գործակիցները չափվում են հազվադեպ, ուստի (4) բանաձևում ներառված փուլային արժեքների անտեղյակությունը հանգեցնում է այսպես կոչված «անհամապատասխանության սխալի»: Վերջինիս մեծության համար արտահայտությունը ստացվել է [1]-ում:

$$\Delta T_{\text{աղ}} \leq \pm 2|\Gamma_{\text{մ}}||\Gamma_{\text{աղ}}|(T_{\text{մ}} - T_{\text{աղ}}). \quad (5)$$

որտեղ $\Delta T_{\text{աղ}}$ աղմուկի ջերմաստիճանի չափման առավելագույն սխալն է:

Այն դեպքում, երբ աղմկային աղբյուրի փոխարեն ռադիոմետրին միացված է անտենա, ապա (5-ի նման) մենք ստանում ենք.

$$\Delta T_{\text{ան}} \leq \pm 2|\Gamma_{\text{ս}}||\Gamma_{\text{ան}}|(T_{\text{ս}} - T_{\text{ան}}), \quad (6)$$

որտեղ $\Delta T_{\text{ան}}$ անտենայի ջերմաստիճանի չափման առավելագույն սխալն է:

Այն գտնելու համար երեք (1, 7, 9) արտահայտություններ գումարում ենք և ստանում.

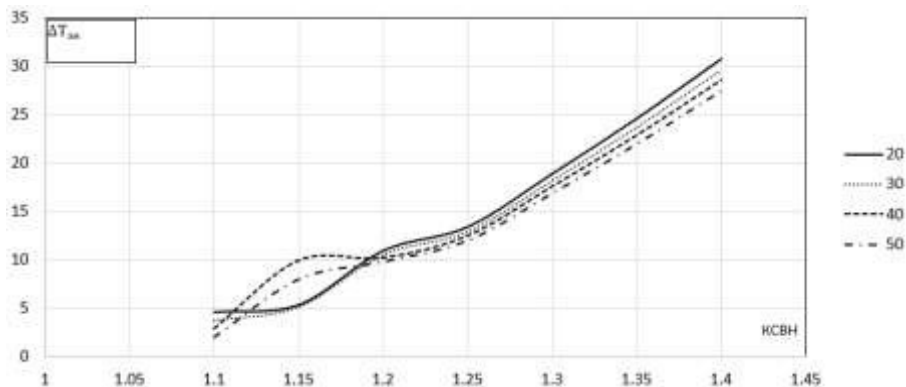
$$\begin{aligned} \Delta T_{\text{ան}} \approx & \pm 2|\Gamma_{\text{ս}}| \{ |\Gamma_{\text{աղ}}|(T_{\text{ս}} - T_{\text{ան}}) + \Gamma_1 \frac{T_0 - T_{\text{ան}}}{T_0 - T_1} (T_{\text{ս}} - T_1) + \\ & + T_0 \frac{T_1 - T_{\text{ան}}}{T_0 - T_1} (T_{\text{ս}} - T_0) \} . \end{aligned} \quad (7)$$

Սովորաբար ռադիոաստղագիտական չափումների ժամանակ բեռը գտնվում է շրջակա միջավայրում, այսինքն՝ $T_2 = T_0 = 293 \text{ K}$ – ջերմաստիճան [2, 4, 5]:

(7) արտահայտությունից հետևում է, որ եթե անդրադարձման գործակցի մոդուլը հավասար է զրոյի ($|\Gamma_{\text{ս}}|=0$), ապա $\Delta T_{\text{ան}}=0$:

Անհամաձայնության ազդեցությունը նվազեցնելու համար ռադիոմետրի մուտքում օգտագործվում է անջատող տարր, որն ապահովում է $T_{\text{ս}}=T_0$ պայմանը: Այնուհետև (7) կընդունի.

$$\Delta T_{\text{ան}} \approx \pm 2|\Gamma_{\text{ս}}|(|\Gamma_{\text{ան}}| + |\Gamma_1|)(T_0 - T_{\text{ան}}) \quad (8)$$



Նկ. 2. Շրջակա միջավայրի պայմաններում աղմուկի ջերմաստիճանի չափումների առավելագույն բացարձակ սխալների գրաֆիկները

$T_{\text{ան}} = 20, 30, 40, 50 \text{ K}$ և $T_{\text{աղ}}=80 \text{ K}$ (ազոտի բեռ), ջերմաստիճանների դեպքում անհամաձայնությունների պատճառով աղմուկի ջերմաստիճանի չափումների առավելագույն բացարձակ սխալների արժեքներն

են (աղյուսակ 1 և նկ. 2), [3]. պարզության համար ենթադրվում է՝
 $|\Gamma_u|=|\Gamma_{wq}|=|\Gamma_{wn}|=|\Gamma|$:

Աղյուսակ 1

Շրջակա միջավայրի պայմաններում աղմուկի ջերմաստիճանի չափման
 առավելագույն բացարձակ սխալների արժեքները

ԿԱԳ	Γ	$\Delta T_{\text{ան}}$ տարբեր $T_{\text{աղ}}$ -երի դեպքում			
		20°	30°	40°	50°
1,10	0,0476	4,64	3,76	2,88	2,00
1,15	0,0697	5,38	5,18	9,92	8,00
1,20	0,099	10,98	10,58	10,19	9,8
1,25	0,1110	13,44	12,96	12,48	12,0
1,30	0,1304	18,93	18,25	17,58	16,9
1,35	0,1489	24,64	23,76	22,88	22,0
1,40	0,1666	30,8	29,70	28,60	27,5

որտեղ ԿԱԳ-ն կանգուն ալիքի գործակիցն է ըստ լարման:

Աղյուսակից և նկ. 1-ից երևում է, որ անհամապատասխանության
 սխալները բավականին մեծ են (չափման նվազագույն սխալը՝ 2 Գ):

Անհամաձայնությունները հաշվի առնելու մեթոդներից մեկը ռա-
 դիոմետրի մուտքում փուլաշրջիչի օգտագործումն է: Այս դեպքում ան-
 հրաժեշտ է միջինացնել անհամաձայնության կորը՝ օգտագործելով
 փուլաշրջիչ, ռադիոմետրի մուտքում փոխեփոխ միացնելով չափված և
 համեմատելի ազդանշանների աղբյուրները: Այնուամենայնիվ, նման
 չափումները գործնականում դժվար են: Դրա համար կարելի է օգտա-
 գործել եղանակներ, որոնք չեզոքացնում են անհամաձայնությունների
 ազդեցությունը չափման արդյունքի վրա:

(7) արտահայտությունից հետևում է, որ անհամաձայնությունների
 ազդեցությունը վերացնելու համար անհրաժեշտ է հավասարեցնել
 ռադիոմետրի մուտքում համարժեք ջերմաստիճանները: Սկզբունքո-
 բեն դա անում են հետևյալ կերպ. մեծ մեկուսացումով ցիրկուլյատորը
 (≥ 25 ԴԲ) միացվում է ռադիոմետրի մուտքին, իսկ ճշգրիտ կլանող թու-
 լացուցչի միջոցով երրորդ թևը միացվում է ցածր ջերմաստիճանի աղ-
 մկային աղբյուրին (հեղիումի կամ ազոտի բեռ կամ շչակ՝ ուղղված դե-
 պի երկինք):

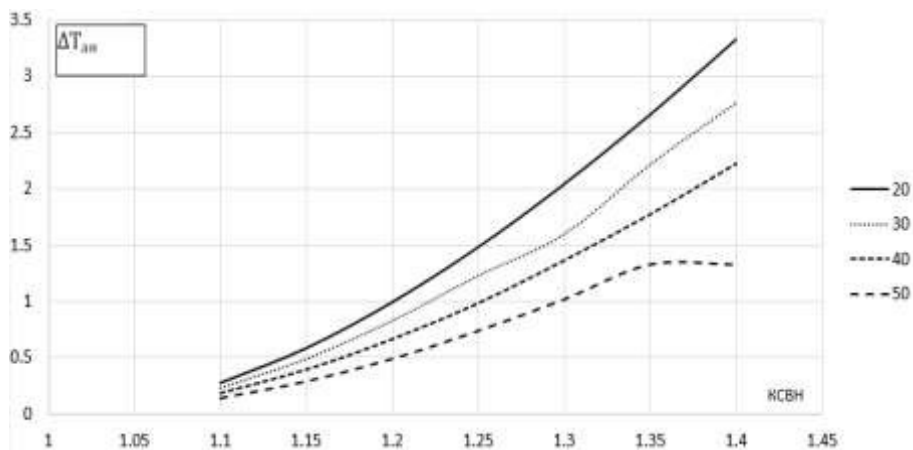
Ազոտի բեռի տակ աղմուկի ջերմաստիճանի չափման առավելագույն
բացարձակ սխալների արժեքները

ԿԱԳ	Γ	ΔT _{ան} տարբեր T _{աղ} -երի դեպքում			
		20°	30°	40°	50°
1,10	0,0476	0,27	0,23	0,18	0,14
1,15	0,0697	0,58	0,49	0,39	0,29
1,20	0,0909	0,99	0,83	0,66	0,49
1,25	0,1111	1,48	1,23	0,98	0,74
1,30	0,13	2,04	1,60	1,36	1,02

Ազոտի բեռ օգտագործելու դեպքում ստացվում է չափման հարմար մեթոդ: Անհրաժեշտ է անջատիչի միջոցով միացնել ազոտի բեռը շրջանառիչի երրորդ թևին և գրանցելիս ապահովել $T_{մ}=T_{աղ}$ պայմանը, իսկ $T_{օ}$ մակարդակը գրանցելիս՝ $T_{մ} = T_{օ}$ պայմանը: (7) -ը կլինի.

$$\Delta T_{աղ} \approx \pm 2|\Gamma_{մ}||\Gamma_{ան}|(T_{աղ} - T_{ան}) \quad (9)$$

Աղյուսակ 2 -ում և նկ. 3-ում ցույց են տրված $T_{աղ}$ -ի առավելագույն բացարձակ չափման սխալների արժեքները, որոնք հաշվարկվում են բանաձևով (9) անհամաձայնությունների առկայությամբ [9]: ԿԱԳ և $T_{աղ}$ -ի արժեքները նույնն են, ինչ աղյուսակ 1-ում:



Նկ.3. Ազոտի բեռի տակ աղմուկի ջերմաստիճանի չափումների առավելագույն
բացարձակ սխալների գրաֆիկները

Աղ. 2-ից և նկ. 3-ից պարզ է, որ $T_{ան}$ -ի չափման սխալներն այս դեպքում կրճատվում են մոտավորապես 10 անգամ աղ. 1-ում տրված տվյալների համեմատ: Հետևաբար, երբ ԿԱԳ-ը $\leq 1,20$ է, ապա նկարա-

գրված եղանակի դեպքում անհամաձայնություններն աննշան ներդրում ունեն $T_{\text{ան}}$ -ի չափման սխալի վրա (2...3%):

Եզրակացություն

- Անհամաձայնությունների ազդեցությունը նվազեցնելու և ամբողջությամբ վերացնելու համար առաջարկվել են եղանակներ անտենայի բնութագրերի չափման արդյունքների համար:

- Անտենայի բնութագրերի չափումը ռադիոաստղագիտական մեթոդներով կարող է իրականացվել ոչ ավելի, քան 5% անհամաձայնության սխալներով և ուղու անհամասեռության առկայության դեպքում:

- Ապացուցված է, որ ռադիոմետրի մուտքի մոտ սառեցված թևով շրջանառիչ օգտագործելու դեպքում անհամաձայնության սխալները կրճատվում են:

ՀՀ ԳԱԱ ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ
E-mail: n.yezakyan@hotmail.com

Ա.Գ. Ղույան, Ն.Դ. Եզակյան

Աղմկային ջերմաստիճանի չափման սխալների նվազեցման ռադիոաստղագիտական եղանակ

Ռադիոաստղագիտական եղանակը թույլ է տալիս չափել անտենայի աղմկային ջերմաստիճանը ռադիոմետրի մուտքում իդեալական համաձայնության դեպքում:

Անտենա – ռադիոմետր, նմուշային բեռ – ռադիոմետր համակարգերում միջոտ կան պատճառներ, որոնք բերում են հզորության վերաանդրադարձումների: Այս դեպքում չափված մեծությունները բնութագրվում են անհամաձայնության սխալներով:

Ներկա աշխատանքում ուսումնասիրվել է անհամաձայնության ազդեցությունն աղմկային ջերմաստիճանի չափման վրա: Առաջարկվել են չափման արդյունքների վրա այդ անհամաձայնությունների ազդեցությունը նվազեցնելու և ամբողջական վերացնելու եղանակներ:

А.Г. Гулян, Н.Д. Езакян

Радиоастрономический метод для снижения ошибок измерения шумовой температуры

Радиоастрономические методы позволяют измерять шумовую температуру при идеальном согласовании антенны и эталонной нагрузки со входом радиометра.

В реальных системах “антенна – радиометр”, “эталонная нагрузка – радиометр” всегда существует ряд причин, приводящих к переотражению мощности. При этом измеренные величины характеризуются ошибками рассогласования.

В настоящей работе рассмотрено влияние рассогласований при измерении шумовой температуры. Предложены методы уменьшения и полного устранения влияния этих рассогласований на результаты измерений.

A.G. Ghulyan, N.D. Yezakyan

The Radio Astronomical Method for Reduction of Measurement Error of Noise Temperature

Radioastronomical methods allow to measure noise temperature with perfect alignment of antenna and reference load with the radiometer input.

In real systems "antenna – radiometer", "reference load – radiometer", there are always a number of reasons leading to power rereflection. In this case, measurands are characterized by mismatch errors.

This research work examines the influence of mismatches in noise temperature measurements. Methods for reducing and completely eliminating the influence of these mismatches on measurement results are proposed.

Գրականություն

1. *Гавриленко В.Г., Калинин А.В.* Методы измерения характеристик антенн по сигналам внеземных радиоисточников. Электронное учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012, 58 с.
2. *Гулян А.Г.* Измерение параметров антенн дальней космической связи радиоастрономическими методами. Дис. ... д.т.н. в виде доклада. Харьков, 1990, 80 с.
3. *Гулян А.Г., Асланян А.М., Мирзабекян Э.Г.* Измерение шумовой температуры антенны при наличии рассогласований В кн.: “Радиоприемные устройства СВЧ”: Тезисы докладов 2-го Всесоюз. школы-семинара. Ереван, 1974, с. 102–104.
4. *Кузьмин А.Д., Соломонович А.Е.* Радиоастрономические методы измерения параметров антенн. М.: Советское радио, 1962, 181 с.

5. *Медведев А.В.* Развитие методов и аппаратных средств радиофизических исследований верхней атмосферы Земли на иркутском радаре некогерентного рассеяния. Дис. ... д.ф.-м.н., Иркутск, 2014, 225 с.
6. Методы измерения параметров излучающих систем в ближней зоне / Л.Д. Бахрах, С.Д. Кременецкий, А.П. Курочкин, В.А. Усин, Я.С. Шифрин. Л.: Наука, 1985, 272 с.
7. Наблюдение ионосферных мерцаний дискретных космических источников, Секция А / В.Г. Безродный, В.Г. Галушко, А.С. Кашеев, О.В. Чаркина и др., Физика околоземного космического пространства БШФФ. 2006, с. 181–184.
8. Радиоизмерительная аппаратура СВЧ и КВЧ. Узловая и элементная базы / А.М. Кудрявцев, И.Г. Мальтер, А.Е. Львов, О.П. Павловский, В.А. Шумилов, А.М. Щитов. М.: Радиотехника, 2006, 208 с.
9. Сравнение возможностей оптических и радиоастрономических методов измерения параметров крупных антенн / Н.А. Дугин, А.В. Калинин и др., Труды Института прикладной астрономии РАН, 2019, вып. 48.
10. *Фельд Я.Н., Бененсон Л.С.* Основы теории антенн. Учебное пособие для вузов. 2-изд., М.: Дрофа, 2007, 491с.