

М.Д. Рисаков, О.П. Кулик, В.Г. Кубрак, С.М. Блащук, О.В. Щербак

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ЗАПАСУ РАДІОСИГНАЛУ НА ІНТЕРВАЛАХ ЛІНІЇ ТРОПОСФЕРНОГО РАДІОЗВ'ЯЗКУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ЗВ'ЯЗКУ

У роботі для розрахованих завчасно сумарних кутів закриття горизонту та довжини інтервалів лінії тропосферного радіозв'язку пропонується математичний алгоритм розрахунку запасу радіосигналу як основної складової для обчислення надійності на усій лінії тропосферного радіозв'язку. Для цього наведено послідовність розрахункових виразів з відповідними коефіцієнтами, значення яких були отримані шляхом математичного опису графіків і номограм взаємних залежностей запасу радіосигналу від відповідних параметрів для тропосферних станцій зв'язку, що знаходяться на оснащенні військ зв'язку та інформаційних систем Повітряних Сил Збройних Сил України.

Ключові слова: лінія тропосферного радіозв'язку, тропосферна станція, надійність зв'язку, запас сигналу.

Вступ

Постановка проблеми. Розрахунок надійності лінії тропосферного радіозв'язку (ЛТРЗ) включає наступні етапи [1–2]:

– визначення координат і азимутів взаємного розміщення та кутів закриття горизонту антен двох тропосферних станцій (ТРС) кожного з інтервалів ЛТРЗ;

– розрахунок запасу рівня радіосигналу на інтервалах ЛТРЗ;

– визначення придатності інтервалів та розрахунок надійності усїєї ЛТРЗ.

Враховуючи, що такі розрахунки поки що виконуються переважно так званим “ручним способом” актуальним є завдання щодо їх автоматизації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У джерелах [3–5] робиться акцент, що в ході бойових дій (навчань) через пункти управління армійського корпусу (АК) проходить значний обсяг інформації. Так, тільки у напрямку основного командного пункту однієї з дивізій зі штабу АК щодня може передаватися понад 100 телефонних повідомлень, близько 60 телеграфних і до 130 передачі даних. Одноканальні та малоканальні засоби радіозв'язку не в змозі справитися з таким обсягом інформації. Тому на вузлах зв'язку АК широко використовуються багатоканальні засоби тропосферного і релейного зв'язку [6–7], що володіють високою пропускнуною спроможністю.

Засоби тропосферного радіозв'язку також знаходили широке застосування у військах зв'язку збройних сил колишнього СРСР [8–9].

Не дивлячись на все більш широке застосування супутникових засобів зв'язку, засоби тропосфер-

ного радіозв'язку використовуються як в мережах спеціального, так і комерційного призначення [10–12]. Для перших мереж перевагою мобільних тропосферних засобів перед супутниковими є їх вища живучість в умовах збройних конфліктів і (або) антитерористичних заходів. Прототипом портативної (переносної) ТРС подвійного призначення може виступати розробка Харківського національного університету радіоелектроніки. Наведені в [12] технічні характеристики та результати випробувань свідчать про спроможність вітчизняних вчених розробляти сучасні ТРС. У роботі [1] пропонується блок-схема алгоритму автоматизованого розрахунку ЛТРЗ і обґрунтовується можливість розрахунку координат і азимутів взаємного розміщення та кутів закриття горизонту антен двох ТРС кожного з інтервалів ЛТРЗ за профілем рельєфу електронної карти місцевості.

Мета статті – запропонувати алгоритм автоматизованого розрахунку запасу радіосигналу на інтервалах лінії тропосферного радіозв'язку для визначення надійності усїєї лінії зв'язку.

Виклад основного матеріалу

Початковими даними для розрахунку запасу рівня високочастотного (ВЧ) сигналу q на кожному інтервалі ЛТРЗ є сумарний кут закриття β_{Σ} горизонту та довжина R інтервалу. Алгоритм розрахунку цих параметрів інтервалів ТРЛ на основі електронного рельєфу місцевості наведено в роботі [1].

Запас рівня ВЧ сигналу q на інтервалі ЛТРЗ (у децибелах) визначається [2] сумою двох складових – запасу рівня ВЧ сигналу у вільному просторі q_0 та поправки ΔW запасу ВЧ сигналу:

$$q = q_0 + \Delta W. \quad (1)$$

Величина q_0 враховує залежність запасу рівня ВЧ сигналу від протяжності інтервалу R ЛТРЗ, сумарного кута закриття β_Σ на інтервалі, типу ТРС і використовуємого у ТРС режиму роботи (r – телефонний режим (“тлф”, $r=1$) або передача бінарної інформації (“бін”, $r=2$)).

Поправка ΔW в (1) враховує вплив на величину запасу рівня ВЧ сигналу ще ряду параметрів, що будуть розглянуті далі.

Блок-схему алгоритму розрахунку запасу ВЧ сигналу для i -го інтервалу ЛТРЗ наведено на рис. 1.

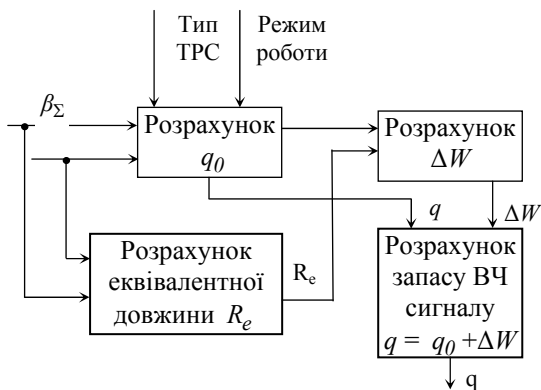


Рис. 1. Блок-схема алгоритму розрахунку запасу ВЧ сигналу для одного інтервалу ЛТРЗ

Охарактеризуємо математичний (обчислювальний) алгоритм автоматизованого розрахунку запасу високочастотного сигналу згідно [2].

Для розрахунку величини q_0 будемо використовувати вирази, що описують залежності величини q_0 від відстані R , сумарного кута закриття β_Σ на кожному інтервалі лінії тропосферного радіозв'язку та від типу t_p і режиму роботи r тропосферної станції. Таку залежність можна описати вразом:

$$q_0(R, \beta_\Sigma) = \Delta q(t_p, r) + k_1(\beta_\Sigma) - k_2(\beta_\Sigma) \cdot R + k_3(\beta_\Sigma) \cdot R^2. \quad (2)$$

При цьому значення коефіцієнтів k_1 , k_2 та k_3 в (2) залежать від кута β_Σ та від типу ТРС. Значення цих коефіцієнтів відрізняється для станцій різних типів.

Графіки функцій (2) для тропосферної станції типу 1 (запас ВЧ сигналу $\Delta q(t_p, r) = 0$) у “тлф” режимі наведені на рис. 2.

Залежність отриманих значень коефіцієнтів k_1 , k_2 та k_3 в (2) від кута закриття β_Σ для тропосферної станції типу 1 ($t_p=1$) у телефонному режимі наведе-

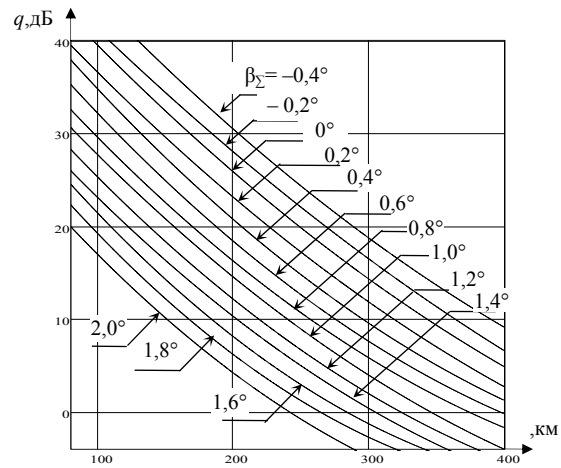


Рис. 2. Графіки залежності запасу ВЧ сигналу ТРС типу 1 ($t_p=1$) у телефонному режимі

Таблиця 1
Залежність значень коефіцієнтів k_1 , k_2 та k_3 від β_Σ для типу 1 ($t_p=1$) у режимі “тлф”

β_Σ°	2,0	1,8	1,6	1,4	1,2	1,0	0,8
k_1	33,33	36,3	38,53	38,71	41,35	43,38	45,7
$k_2 \cdot 10^{-2}$	18,27	19,156	19,08	17,085	17,56	17	17,6
$k_3 \cdot 10^{-5}$	18,48	20,52	19,4	14,4	14,8	12,9	14,4
β_Σ°	0,6	0,4	0,2	0	-0,2	-0,4	-
k_1	48,85	51,62	52,1	55,13	55,9	60,22	-
$k_2 \cdot 10^{-2}$	18,2	18,3	16,63	16,715	15,57	16,99	-
$k_3 \cdot 10^{-5}$	14,866	14,29	10,73	10,4	8,135	10,56	-

Залежність додатку запасу ВЧ сигналу $\Delta q(t_p, r)$ в (2) від режимів роботи r та типу ТРС $t_p = 1, t_p = 2, t_p = 3$ та $t_p = 4$ наведена у табл. 2.

Таблиця 2
Значення додатку запасу ВЧ сигналу $\Delta q(t_p, r)$ в залежності від режиму роботи та типу ТРС

Режим	Телефонний ($r = 1$)			
	$(t_p = 1)$	$(t_p = 2)$	$(t_p = 3)$	$(t_p = 4)$
Δq	0	-15	-18	-20
Режим	Бінарний ($r = 2$)			
	Δq	2	-13	-16

Графіки функцій (2) для ТРС типу 5 ($t_p=5$) ($\Delta q(t_p, r) = 0$) у телефонному режимі ($r=1$) наведені на рис. 3, а залежність коефіцієнтів k_1 , k_2 та k_3 в (2) від кута β_Σ для ТРС цього типу у телефонному режимі – у табл. 3.

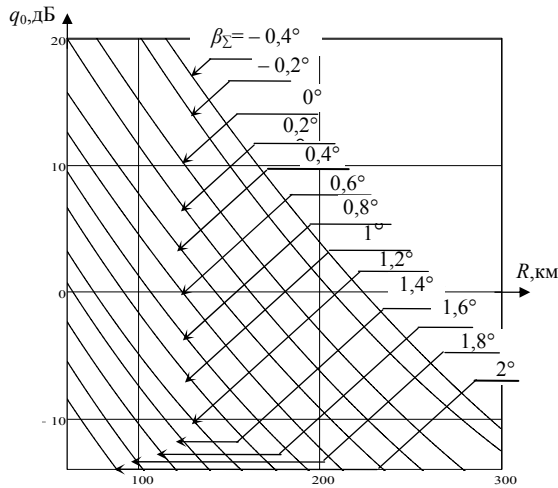


Рис. 3. Графіки залежності запасу ВЧ сигналу ТРС типу 5 у телефонному режимі

Таблиця 3

Залежність значень коефіцієнтів k_1 , k_2 і k_3 від β_Σ для ТРС типу 5 у режимі 1

β_Σ°	2	1,8	1,6	1,4	1,2	1	0,8
k_1	6,08	9,57	12,67	15,77	18,27	21,59	23,99
$k_2 \cdot 10^2$	27	27,9	27,88	27,88	27,88	27,31	26,17
$k_3 \cdot 10^5$	46,3	47	47,13	46,13	46,13	39,85	33,6
β_Σ°	0,6	0,4	0,2	0	-0,2	-0,4	-
k_1	26,36	29,24	34,26	37,89	44,84	46,77	-
$k_2 \cdot 10^2$	24,5	23,94	25,38	25,28	27,43	25,99	-
$k_3 \cdot 10^5$	25,75	23,55	25,31	23,95	27,68	22,68	-

Залежність додатку $\Delta q(t_p, r)$ запасу сигналу в (2) у режиму роботи $r=1$ (“тлф”) або $r=2$ (“бін”) та від типу ТРС $t_p=5$, $t_p=6$, $t_p=7$ та $t_p=8$ наведена у табл. 4.

Таблиця 4

Значення додатку $\Delta q(t_p, r)$ запасу ВЧ сигналу від режиму роботи та типу ТРС

Режим	Телефонний ($r=1$)			
Тип ТРС	$(t_p=5)$	$(t_p=6)$	$(t_p=7)$	$(t_p=8)$
Δq	0	-4	-1	-2
Режим	Бінарний ($r=2$)			
Δq	2	-2	1	0

Послідовність отримання значення складової q_0 запасу ВЧ сигналу наступна. Для знаходження значення складової q_0 до складу програми входить вбудована функція, яка виконує розрахунок q_0 згідно виразу (2). Вхідними даними для виразу цієї функції є вже знайдені параметри інтервалу ЛТРЗ: довжина R , сумарний кут закриття β_Σ ; поправка

$\Delta q(t_p, r)$, яка залежить від типу t_p та режиму роботи r ТРС (табл. 2, табл. 4). При цьому по значенню β_Σ вбудована функція вибирає значення коефіцієнтів k_1 , k_2 та k_3 і для значень R , t_p та r розраховує значення складової q_0 .

Поправка ΔW запасу ВЧ сигналу в (1) враховує вплив на величину запасу рівня ВЧ сигналу кліматичних умов району, де розгортається ТРС, пори року (місяця) і середньої висоти профілю h_{mp} траси інтервалу ЛТРЗ. Пропонується наступна послідовність знаходження поправки ΔW .

З карти кліматичних районів північної частини Євразії [2] видно, що територія України відноситься до третього кліматичного району. Тому для знаходження поправки ΔW достатньо враховувати значення індексу N_0 заломлення повітря на рівні моря і вертикального градієнта індексу заломлення повітря q_N цього кліматичного району. Значення параметрів N_0 та q_N наведені у табл. 5.

Таблиця 5

Середні значення параметрів q_0 та q_N за місяць для території України

Місяць	N_0	q_N
I, II, III, IV	317,5	0,042
V, IX, X, XI, XII	327,5	0,040
VI, VII, VIII	338,0	0,041

Значення параметрів табл. 5 у програмі запам'ятовуються в якості вхідних даних для знаходження поправки ΔW . До таких даних також відноситься середня висота профілю h_{Tp} траси інтервалу над рівнем моря та еквівалентне значення протяжності (довжини) R_e інтервалу ЛТРЗ.

Еквівалентне значення протяжності R_e інтервалу ЛТРЗ пов'язане з довжиною R інтервалу та сумарним кутом закриття виразом:

$$R_e = R + 148 \cdot \beta_\Sigma. \quad (3)$$

Для автоматизованого визначення поправки ΔW запасу ВЧ сигналу на кліматичні умови місяця, що розглядається, на висоту h_{Tp} та з урахуванням значення R_e для інтервалу ЛТРЗ пропонується описати математичними виразами номограми, що використовуються при ручному знаходженні ΔW , дБ [2]. При цьому, для ТРС типу 1, типів 2–4 і типів 5–8, як і у випадку виразу (2), для розрахунку q_0 необхідно підбирати різні значення параметрів відповідних виразів опису поправки ΔW запасу ВЧ сигналу. В обох випадках (ТРС типу 1, типів 2–4 і типів 5–8) номограми являють собою послідовність трьох наборів графіків функцій:

- $y_i(h_{mp}, q_N)$ для дискретного набору значень градієнта індексу заломлення повітря q_N ;
- $y_j(x, N_0)$ для дискретного набору значень індексу заломлення повітря N_0 ;
- $\Delta W(x, R_e)$ для дискретного набору значень еквівалентної протяжності R_e інтервалу ЛТРЗ.

При програмному опису цих функцій з метою послідовного їх використання для отримання поправки ΔW необхідно "інвертувати" другу функцію $y_j(x, N_0) \rightarrow x(y_j, N_0)$. Тоді послідовність використання математичних виразів трьох функцій полягає у наступному:

- для середньої висоти профілю h_{TP} траси, що розрахована, та для значення вертикального градієнта індексу заломлення повітря q_N для місяця року, що розглядається, з виразу опису функції $y_i(h_{mp}, q_N)$ знаходимо значення умовної функції $y = y_i(h_{mp}, q_N)$;

- для значень умовної функції y та індексу заломлення повітря N_0 для обраного місяця року з виразу опису функції $x(y_j, N_0)$ знаходимо значення умовної функції $x = x(y_j, N_0)$;

- для значень умовної функції x та знайденої еквівалентної протяжності інтервалу лінії тропосферного радіозв'язку R_e з виразу опису функції $\Delta W(x, R_e)$ знаходимо поправку ΔW для визначення запасу сигналу. Прямолінійність графіків перелічених функцій номограм свідчить про прості вирази опису цих функцій. А саме, першу функцію можна описати виразом:

$$y_i(h_{mp}, q_N) = (h_{mp} - 0,2) \cdot k(q_N), \quad (4)$$

де значення коефіцієнту k для різних типів тропосферних станцій (таблиця 6) мають різну залежність від q_N . Графіки функцій (4) для тропосферних станцій типу 1, типів 2÷4 і типів 5÷8 наведені відповідно на рис. 4. Після знаходження значення y умовної (проміжної) функції (4) у вбудованій в програму функції розрахунку поправки ΔW виконується перехід до розрахунку значення умовної функції $x = x(y_j, N_0)$.

Таблиця 6

Значення коефіцієнту k для виразу функції (4) для різних типів ТРС

Тип	q_N	0,05	0,045	0,04	0,038	0,032
$t_p = 1 \div 4$	$k(q_N)$	1	0,9091	0,8	0,75	0,667
$t_p = 5 \div 8$	$k(q_N)$	0,906	0,817	0,756	0,706	0,623

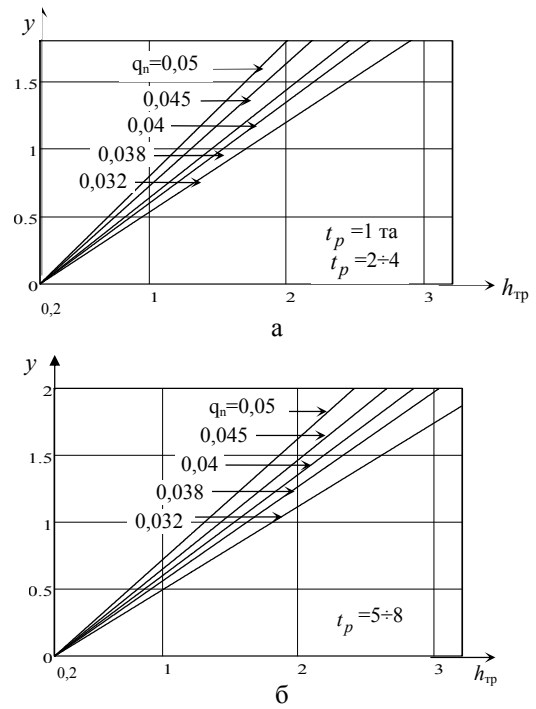


Рис. 4. Графіки першої функції (4) номограми визначення поправок на кліматичні умови і висоту траси інтервалу ЛТРЗ

Такий перехід виконується для отриманого значення y та для вибраного (табл. 5) індексу заломлення повітря N_0 . Другу функцію $x(y, N_0)$ номограми можна описати виразом:

$$x(y, N_0) = y - z(N_0), \quad (5)$$

де значення коефіцієнту z для двох класів ТРС (табл. 7) мають однакову залежність від N_0 .

Таблиця 7

Залежність коефіцієнту z від індексу заломлення повітря N_0

N_0	340	330	320	310
z	0,6	0,4	0,2	0

Графіки функції (5) для ТРС усіх типів, що розглядаються, у залежності від N_0 наведені на рис. 5.

Після знаходження значення координати x умовної (проміжної) функції (5) у вбудованій в програму функції виконується перехід до розрахунку значення поправки $\Delta W = \Delta W(x, R_e)$ для розрахованого значення еквівалентної протяжності R_e інтервалу ЛТРЗ і знайденого значення x .

Функцію $\Delta W(x, R_e)$ можна описати виразом:

$$\Delta W(x, R_e) = -g(R_e) \cdot x. \quad (6)$$

Значення коефіцієнту g для дискретних наборів значень еквівалентної протяжності R_e інтервалу ЛТРЗ наведені у табл. 8, а графіки функцій (6) для ТРС типу 1 і типів 2–4 наведені на рис. 6, а.

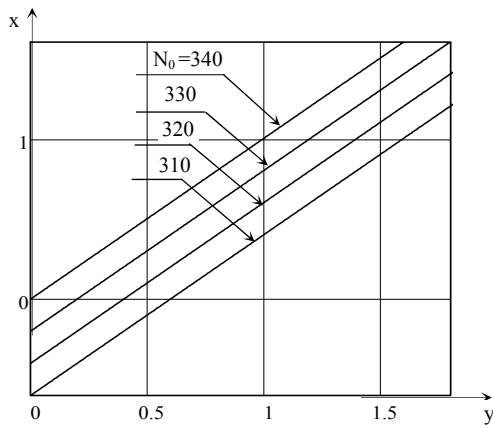


Рис. 5. Графіки функції (5) для ТРС усіх типів

Графіки функцій (6) для ТРС типів 5-8 – на рис. 6, б. Принцип автоматизації розрахунку запасу q рівня ВЧ сигналу (1) на інтервалах ЛТРЗ пропонується реалізувати шляхом програмного опису функцій (1)–(6), зберігання у чарунках пам'яті комп'ютера значення коефіцієнтів цих функцій в залежності від значень відповідних параметрів (табл. 1–8).

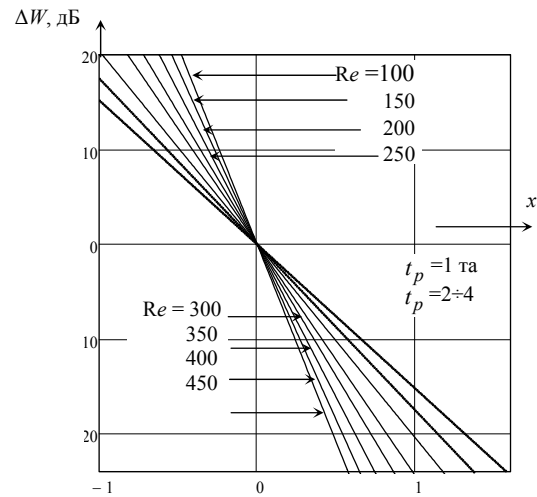
Таблиця 8

Значення коефіцієнту g виразу функції (6) для дискретних значень еквівалентної протяжності R_e

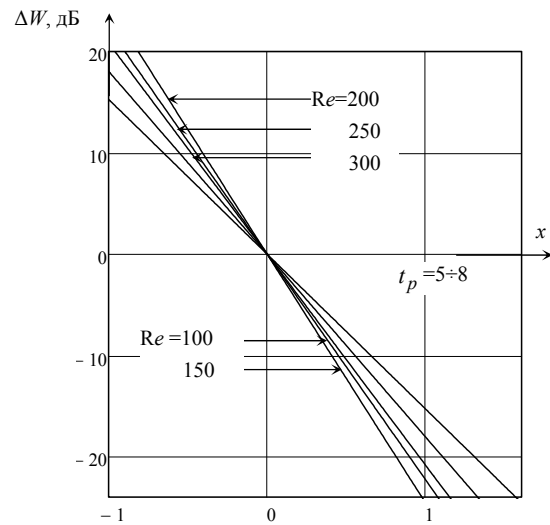
Тип ТРС	R_e , км	100	150	200	250
$t_p = 1 \div 4$	g	41,7	37	32,26	27,8
$t_p = 5 \div 8$	g	24	22	20,86	18,07
Тип ТРС	R_e , км	300	350	400	450
$t_p = 1 \div 4$	g	24,39	20,4	17,5	17,2
$t_p = 5 \div 8$	g	15,3	–	–	–

Таким чином, шляхом послідовного виклику вбудованих підпрограм-функцій і вводу початкових даних вдається отримати значення запасу ВЧ сигналу без звертання до графіків і номограм розрахунку запасу ВЧ сигналу.

Отримані значення запасу високочастотного сигналу q та еквівалентної протяжності R_e інтервалу ЛТРЗ є початковими даними для визначення придатності інтервалів ЛТРЗ та автоматизованого розрахунку надійності зв'язку на інтервалах ЛТРЗ з перевіркою відповідності отриманої надійності вимогам.



а



б

Рис. 6. Графіки кінцевої функції (6) визначення поправок ΔW для значень x та еквівалентної протяжності R_e інтервалу ЛТРЗ

Висновки

У роботі пропонується математичний алгоритм автоматизованого розрахунку запасу високочастотного сигналу на інтервалах лінії тропосферного радіозв'язку для визначення надійності усієї лінії зв'язку.

Алгоритм автоматизованого розрахунку безпосередньо надійності лінії тропосферного радіозв'язку автори планують запропонувати у наступній роботі.

Список літератури

- Особливості алгоритму автоматизованого розрахунку лінії тропосферного радіозв'язку / О.П. Кулик, М.Д. Рискаков, А.Л. Ковтунов, С.М. Блащук, О.І. Воронін // Системи обробки інформації. – 2018. – № 3(115). – С. 39-45. <https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.06>.
- Рыжков Е.В. Проектирование и расчет радиорелейных линий связи / Е.В. Рыжков, Г.И. Гаврилова, Е.А. Зусманов. – М.: Связь, 1975. – 264 с.

3. Ackerman R.K. Software Drives Future Army Communications [Електронний ресурс] / R.K. Ackerman // *Signal Magazine*. – 2011. – Режим доступу: <https://www.afcea.org/content/software-drives-future-army-communications>.
4. The official website of the United States Marine Corps. MWCS-28 trains in the troposphere. – Режим доступу: <https://www.cherrypoint.marines.mil/News/>.
5. Yamamoto M. Troposcatter in the Modern Military [Електронний ресурс] / M. Yamamoto / *Technical Information* – 2014. – Режим доступу: <http://www.comtechsystems.com/wp-content/uploads/2014/05/Troposcatter-In-The-Modern-Military.pdf>.
6. Signal Support to Operations [Електронний ресурс], Washington: Headquarters Department of the Army, 2014. – 68 p. Режим доступу: <https://fas.org/irp/doddir/army/fm6-02.pdf>.
7. Troposcatter Hardware [Електронний ресурс] / The official website of Comtech Systems – 2015. – Режим доступу: <http://www.comtechsystems.com/products-systems/troposcatter-hardware>.
8. Кукк К.И. Из истории становления отечественной военной радиорелейной и тропосферной связи / К.И. Кукк // *Электросвязь: история и современность*. – 2008. – № 2. – С. 2-6.
9. Серов В.В. Тропосферная связь / В.В. Серов // *Технологии ЭМС*. – 2012. – № 2(41). – С. 55-60.
10. Багатоканальний електрозв'язок та телекомунікаційні технології / Під ред. В.В. Поповського. – Х.: ТОВ “Компанія СМІТ”, 2010. – 482 с.
11. Ильченко М.Е. Направления создания тропосферных станций нового поколения / М.Е. Ильченко, Т.Н. Нарытник, В.И. Слюсар // *Цифрові технології*. – 2014. – № 16. – С. 8-18.
12. Проектирование универсальной системы тропосферной и радиорелейной связи / В.В. Поповский, В.А. Лошаков, А. Дриф, Т.Н. Нарытник, В.И. Слюсар // *Цифрові технології*. – 2015. – № 18. – С. 36-45.

References

1. Kulik, O.P., Risakov, M.D., Kovtunov, A.L., Blashchuk, S.M. and Voronin, O.I. (2018), “Osoblivosti algoritmu avtomatizovanogo rozrahunku liniyi troposferного radiozvyazku” [Features of the algorithm for automated calculation of the tropospheric radio communication line], *Information Processing System*, No. 3(115), pp. 39-45. <https://doi.org/10.30748/soi.2018.154.06>.
2. Ryzhkov, E.V., Gavrilova, G.I. and Zusmanov, Ye.A. (1975), “*Proektirovanie i raschet radiorelejnyh liniy svyazi*” [*Design and calculation of radio relay communication lines*], Communication, Moscow, 264 p.
3. Robert, K.A. (2011), Software Drives Future Army Communications, *Signal Magazine*, available at: <https://www.afcea.org/content/software-drives-future-army-communications>.
4. Jimenez, J. (2015), *MWCS-28 trains in the troposphere*, The official website of the United States Marine Corps, available at: <https://www.cherrypoint.marines.mil/News/Article/613801/mwcs-28-trains-in-the-troposphere>.
5. Yamamoto, M. (2009), Troposcatter in the Modern Military, *Technical Information*, available at: <https://www.comtechsystems.com/wp-content/uploads/2014/05/Troposcatter-In-The-Modern-Military.pdf>.
6. Headquarters Department of the Army, (2014), *Signal Support to Operations*. Washington, 68 p.
7. The official website of Comtech Systems, *Troposcatter Hardware*, (2015), available at: <http://www.comtechsystems.com/products-systems/troposcatter-hardware>.
8. Kukk, K.I. (2008), “Iz istorii stanovleniya otechestvennoj voennoj radiorelejnoj i troposfernoj svyazi” [From the history of the formation of the domestic military radio relay and tropospheric communication], *Telecommunications: history and modernity*, No. 2, pp. 2-6.
9. Serov, V.V. (2012), “Troposfernaya svyaz” [Troposphere connection], *EMC Technology*, No. 2(41), pp. 55-60.
10. Popovskiy, V.V. (2010), “*Bagatokanal'nyj elektrozv'yazok ta telekomunikacijni tekhnologii*” [*Multichannel telecommunication and telecommunication technologies*], Company SMIT, Kharkiv, 482 p.
11. Ilchenko, M.Ye., Narytnik, T.N. and Sliusar, V.I. (2014), “Napravleniya sozdaniya troposfernyh stancij novogo pokoleniya” [Directions for the creation of a new generation of tropospheric stations], *Digital Technology*, No. 16, pp. 8-18.
12. Popovskiy, V.V., Loshakov, V.A., Dryf, A., Narytnik, T.N. and Sliusar, V.I. (2015), “Proektirovanie universal'noj sistemy troposfernoj i radiorelejnoj svyazi” [Designing a universal system of tropospheric and radio relay communication], *Digital Technology*, No. 18, pp. 36-45.

Надійшла до редколегії 03.06.2019

Схвалена до друку 13.08.2019

Відомості про авторів:

Рисаков Микола Данилович

кандидат технічних наук доцент
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0003-1579-7705>

Кулик Олександр Петрович

кандидат військових наук
провідний науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0001-7299-4794>

Information about the authors:

Mykola Risakov

Candidate of Technical Sciences Associate Professor
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0003-1579-7705>

Oleksandr Kulyk

Candidate of Military Sciences
Lead Researcher
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0001-7299-4794>

Кубрак Володимир Галустович

начальник науково-дослідного відділу
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-8472-6161>

Volodymyr Kubrak

Chief of Scientific Research Department
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<http://orcid.org/0000-0002-8472-6161>

Блащук Світлана Миколаївна

кандидат технічних наук
старший науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<https://orcid.org/0000-0001-9230-9045>

Svitlana Blashchuk

Candidate of Technical Sciences
Senior Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9230-9045>

Щербак Олег Володимирович

науковий співробітник
Харківського національного університету
Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,
Харків, Україна
<http://orcid.org/0000-0002-5289-8962>

Oleh Scherbak

Research Associate
of Ivan Kozhedub Kharkiv
National Air Force University,
Kharkiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0002-5289-8962>

**ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО АВТОМАТИЗИРОВАННОМУ РАСЧЕТУ ЗАПАСА
РАДИОСИГНАЛА НА ИНТЕРВАЛАХ ЛИНИИ ТРОПОСФЕРНОЙ РАДИОСВЯЗИ
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СВЯЗИ**

Н.Д. Рысаков, А.П. Кулик, В.Г.Кубрак, С.Н. Блащук, О.В. Щербак

В работе предлагается алгоритм расчета запаса радиосигнала на интервалах тропосферной линии как основной составной надежности всей линии связи. Для этого приведена последовательность расчетных выражений с соответствующими коэффициентами. Значения этих коэффициентов были получены путем математического описания графиков и номограмм, которые характеризуют взаимные зависимости запаса радиосигнала от соответствующих параметров. Такие графики и номограммы приведены в методике расчета запаса радиосигнала для тропосферных станций радиосвязи, которые находятся на вооружении войск связи.

Ключевые слова: тропосферная линия связи, тропосферная станция, надежность связи, запас сигналу.

**SUGGESTION UPON AUTOMATED SETTLEMENT
OF SUPPLY OF RADIO SIGNAL ON INTERVALS OF TROPOSPHERE LINE
FOR DETERMINATION OF RELIABILITY OF ALL OF FLOW LINE**

M. Rysakov, O. Kulik, V. Kubrak, S. Blaschuk, O. Scherbak

The features of construction of lines of troposphere radio contact in relation to the lines of line-of-sight are related to the physical features of troposphere connection, which stipulate the features of choice of route of flow and preliminary calculation of reliability of connection line on its intervals for determination of reliability of connection on all of line. In obedience to an existent method the complete calculation of reliability of connection on the line of troposphere radio contact includes the followings stages: typeselection the troposphere stations for the construction of flow line; primary determination of number of intervals and preliminary placing of the troposphere stations; determination of co-ordinates of the stations for each of intervals of flow and distance line between them; determination of corners of closing of horizon of aeriels for each of the stations, total corner of closing on the type of locality of intervals and azimuths of mutual position of aeriels of the stations each of intervals; calculation of value of supply of level of radio signal on the intervals of flow line taking into account the expected value of total corner of closing; determination of fitness each of intervals of flow line by verification of accordance of the expected value of supply of level of radio signal to the normative requirements; determination of reliability of connection for each of intervals and on all of flow line; determination of accordance of the got values reliability of connection to the normative requirements; conclusion about a fitness or not fitness of line of troposphere radio contact for the performance of the put objective. In-process for the expected total corners of closing of horizon, length of intervals of line of troposphere radio contact, taking into account a radioclimatic district, within the limits of which development of line, and pores of year, is planned the mathematical algorithm of calculation of supply of level of radio signal is offered as by a basic constituent for determination of reliability of connection on each of intervals and on all of flow line. The sequences of calculation expressions and proper coefficients are got for this purpose. The values of coefficients were got by mathematical description of the graphs and nomogramm of mutual dependences of supply of level of radio signal from the proper parameters for the troposphere stations which are on the armament of troops of connection and informative systems of Aircrafts of Military Powers of Ukraine.

Keywords: line of troposphere radio contact, troposphere station, supply of level of signal, reliability of connection.