

УДК 621.396.61; 621.396.62

Мошенський А. О.

## ПРОГНОЗУВАННЯ УМОВ РАДІОЗВ'ЯЗКУ НА ОСНОВІ КОМП'ЮТЕРНОЇ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

**Мошенський А. О. Прогнозування умов радіозв'язку на основі комп'ютерної обробки результатів спостережень.** Розглядається задача прогнозування умов радіозв'язку гекто- та декаметрового діапазону на основі статистичної обробки результатів міжнародних аматорських змагань. Запропоновані процедури такої обробки та показано, що за рахунок масовості спостережень можна поліпшити достовірність результатів.

**Ключові слова:** РАДІОЗВ'ЯЗОК, СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА, АМАТОРСЬКІ ЗМАГАННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ

**Мошенский А. А. Прогнозирование условий радиосвязи на основе компьютерной обработки результатов наблюдений.** Рассмотрена задача прогнозирования условий радиосвязи гекто- и декаметрового диапазона на основе статобработки результатов международных соревнований по радиосвязи. Предложена процедура обработки и показано, что за счет массовости наблюдений можно улучшить достоверность результатов.

**Ключевые слова:** РАДИОСВЯЗЬ, СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА, ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ СОРЕВНОВАНИЯ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ

**Moshenskij A. O. Prediction of radio communications condition based on computer processing of observation results.** The problem of predicting the conditions of radio communications on MF and HF based on statistical processing of results of international amateur competitions is considered. A procedures for processing are proposed and it is shown that validity of results could be improved at the expense of mass observation.

**Key words:** RADIO COMMUNICATIONS, STATISTICAL PROCESSING, AMATEUR COMPETITION (CONTESTING), PREDICTION

На сьогодні існує багато користувачів, які застосовують зв'язок на великі відстані без допомоги наземних та супутникових ретрансляторів. Цей зв'язок, зазвичай, проводиться в діапазоні гекто- та декаметрових хвиль. Користувачами є міжнародні миротворчі контингенти, геологічні полярні та інші експедиції, дальня авіація, океанічне судноплавство, радіомовлення, аматорська служба. Всі ці галузі потребують достовірних даних щодо загасання радіохвиль для вибору необхідного і достатнього устаткування, а саме, прийомо-передавачів, антенно-фідерних пристроїв, модемів та ін.. Наслідками некоректного підбору устаткування є ненадійний, непостійний, або, взагалі, ускладнений до неможливого зв'язок, висока кількість помилок на лініях зв'язку, або нераціональне використання занадто складного дорогого і потужного устаткування. При мобільному експедиційному використанні також важливе раціональне використання джерела живлення (використання малопотужних передавачів та застосування простих і надійних антенно-фідерних пристроїв). Важливим є також раціональне планування сеансів зв'язку за часом доби, сезону.

Дослідження в цьому діапазоні почали проводитись після Першої Світової Війни – з введенням законів про свободу ефіру. З того часу ентузіастам було віддано діапазон хвиль довжиною, менше 180-200 м, які помилково вважалися непридатними до дальнього зв'язку.

Вже 1923 р. було проведено перший масштабний експеримент [1, 2] – тест Європа – Америка, в якому прийняло участь понад 35000 радіостанцій тільки з боку США. Було встановлено перший зв'язок телеграфом на хвилі 110 м між французом Leon Deloy 8AB та американцями Fred H. Shiller 1MO, John L. Reinartz 1QP 27.11.1923 р.

На початку 20-х років з усіх кінців світу почали надходити повідомлення про можливість дальнього зв'язку на коротких хвилях (КХ) малою потужністю. Відтоді професійний зв'язок звернув увагу на КХ. У короткохвильовиків одразу відібрали монопольне право на використання КХ. Незважаючи на те найбільший вклад в освоєння цього загадкового діапазону зробили саме радіоаматори. На даний момент продовжується вивчення діапазону КХ. Є ще багато невідомого. Відомі механізми поширення радіохвиль, прогноуються

можливості зв'язку по заданих радіо трасах, прогноуються мертві зони. Вивчене загасання радіохвиль КХ діапазону при зв'язку поверхневою хвилею, вивчені деякі випадки відбиття від шарів іоносфери та загасання в них за відомих властивостях (висотах та концентраціях) шарів. А отже стає можливим прогнозування загасання на іоносферній радіолінії, але за умов зондування її по всій протяжності. Це вимагає значних витрат та є економічно не вигідним.

Можна піти іншим шляхом: визначити діаграму спрямованості (ДС) хоча б власної антени; провести деяку кількість радіозв'язків з різними країнами світу та при кожному з зв'язків фіксувати рівень власного сигналу в віддаленій точці прийому (запитати у кореспондента), рівень сигналу кореспонденту; мати дані про апаратуру та антени кореспондентів. Таке дослідження вийде занадто дорогим з причини розташування по обраним місцям апаратури зв'язку, а також мати людей, які це все обслуговуватимуть.

Але є шлях виконати таке дослідження майже без матеріальних затрат і з високою достовірністю. Достатньо мати один комплект приймально-передавальної апаратури та антени. Здійснювати зв'язки з радіоаматорами короткохвильовиками з різноманітних країн світу, а потім обробити відповідним чином масив отриманих даних.

Для мінімізації похибки при дослідженні за такого алгоритму необхідно коректно вибрати своє місце розташування, мати високоякісний трансівер, знати специфіку роботи на КХ та мати теоретичні данні і вміти використовувати усі можливі механізми поширення радіохвиль (мати досвід), знати специфіку поведінки деяких потенційних класів кореспондентів, ігнорувати данні про досить сумнівні радіо зв'язки.

Визначити загасання радіохвиль можна провівши низку експериментів – сеансів зв'язку. Зобразимо схематично радіозв'язок між двома кореспондентами, враховуючи параметри їхньої апаратури (рис. 1).

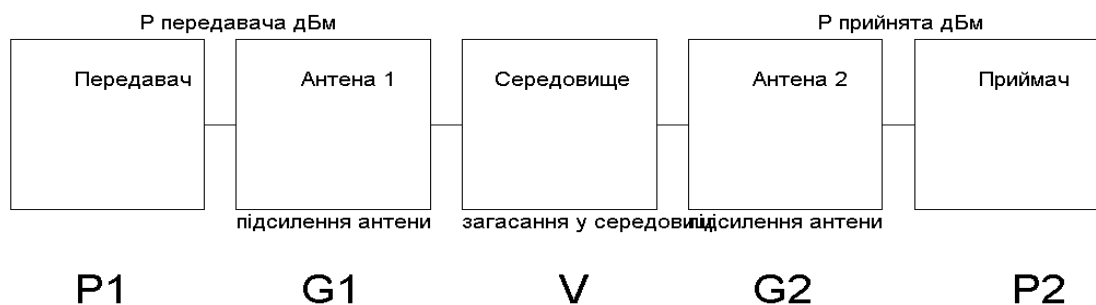


Рис. 1. Схема експерименту

Передавач характеризується потужністю  $P_1$ , сила сигналу на антенних зажимах приймача – потужністю  $P_2$ , антена передавача – коефіцієнтом підсилення  $G_1$ , антена приймача – коефіцієнтом підсилення  $G_2$ , середовище – коефіцієнтом ослаблення  $V$ .

Отже обчислити загасання  $V$  можливо за умов знання всіх інших вищенаведених параметрів за даною структурною схемою:

$$V = P_2 - P_1 + G_1 + G_2 \quad (1)$$

Збір даних доцільно проводити під час міжнародних змагань з радіозв'язку [1, 2]. Причина тому – за досить короткий проміжок часу, 1-2 доби, можна отримати велику кількість вибірок - сотні, тисячі сеансів.

Ускладнює аналіз даних про загасання прийняте у змаганнях формальна оцінка сили сигналу незалежно від його реальної величини. Рапорт зазвичай «59» що означає: 100% розбірливо та дуже гучний сигнал – 50 мкВ на опорі антени 50 Ом. Отже необхідно на своїй прийомній стороні додатково занотовувати реальні рапорти щодо сили сигналу кореспонденту. Під час змагань це складно і зі спортивної точки зору неприпустимо – впливає на зайняте місце в турнірній таблиці. Отже більш доцільним є використання

реєструючої апаратури, що записує аудіо канал та показання індикатору сили сигналу С-метра. Це дозволяє потім коректно отримати дані щодо сили сигналу кореспондента.

Подальший аналіз потребує даних про устаткування кореспондентів. Всі ці дані включені в їх звіти за змагання і відправляються суддям та викладаються на відповідних сайтах змагань, сторонніх сайтах, рефлексорах та форумах.

Нижче наведено приклад фрагменту файлу звіту за змагання графи SOAPBOX – “доповнення” власного звіту, з якого видно, що потужність передавача є 4W та антени Граунд Плейн та Штир висотою 40 метрів в залежності від діапазону частот:

SOAPBOX: HOMEMADE TRX 4 WTT OUT

SOAPBOX: ANT TRAP GP 10-40

SOAPBOX: ANT 40 m high vert 80-160

Розглянемо за приклад зв'язок з французькою радіостанцією [1]. В табл. 1 приведено фрагмент апаратного журналу.

Табл. 1

DATE	GMT	CALL	BAND	RS R	RS S	INFO
14.08.2004	1724	F4EIZ/P	14	55	57	MARK IC-706 30W 3EL

Кореспондент розташований неподалік Парижу.

Апаратура – японський портативний трансівер IC-706 [3, 4, 1]. Потужність на передачу до 100 W навмисно обмежена оператором до 30 W для збереження батареї живлення.

Антенна – трьохелементний хвильовий канал [5, 6, 7], що забезпечує підсилення близько 8-9 дБ, а ослаблення зі зворотнього напрямку не менш 15-20 дБ.

Розглянемо ділянку азимутальної карти, що відповідає обраному радіозв'язку (рис. 2).

За таких умов можливі 2 типи поширення радіохвиль (ПРХ), як це зображено на рис. 3. Перший – це одне відбиття від шару F2, другий – два відбиття від шару F2.

В першому випадку кути приходу радіохвиль замалі – 8 градусів. При таких кутах значне ослаблення спричинятимуть навколишні об'єкти природного рельєфу місцевості, загасання в них важко змодельовати [6, 7]. Антени мають значне послаблення при роботі з такими кутами. Отже з вищенаведених причин стає видно, що цим випадком можна взагалі знехтувати. В іншому випадку кут приходу становить 22 градуси.

Отже, змодельуємо антену UT5UUV/P за допомогою обчислювального ядра MIMINEC в пакеті MMANA [7] (рис. 4). Напрямок осі X (товста чорна лінія на рис 5) відповідає напрямку антенного дроту і відповідає куту 75 градусів. Отже на рисунку ДС маємо розглядати азимут 285 як  $285+15=300$ . Коефіцієнт підсилення антени UT5UUV/P становить відповідно  $9.46 \text{ дБ} - 8.5 \text{ дБ} = 0.96 \text{ дБ}$ .

Антенна кореспондента F4EIZ/P типу трьохелементний «хвильовий канал» [6]. Змодельуємо антену в пакеті MMANA [7] (рис 6). Антенна F4EIZ/P [1] була спрямована в бік UT5UUV/P [1, 2, 8], а отже розглянемо її коефіцієнт підсилення  $12.97 \text{ дБ} - 5.3 \text{ дБ} = 7.67 \text{ дБ}$ .

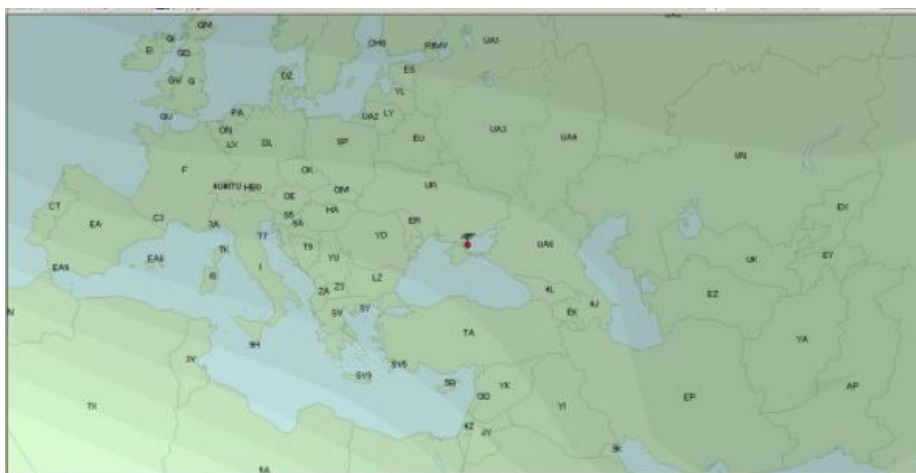


Рис. 2. Дистанція 2500 км, азимут 285 градусів

Кореспондент дав оцінку сили сигналу як 5 балів гучності. Це відповідає рівню сигналу на антенних зажимах приймача 3 мкВ або -97 дБм на опорі 50 Ом [4, 5, 6, 9].

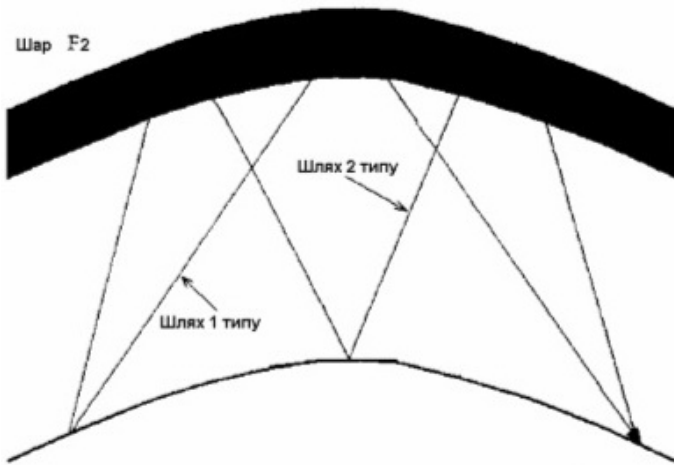


Рис. 3. Шлях поширення при зв'язку з F4EIZ/P

Отже в результаті ми маємо все необхідне для обчислення загасання на трасі в нашому випадку:

*передавач* характеризується потужністю  $P_1 = +30$  дБм, сила сигналу на антенних зажимах приймача – 5 балів, потужністю  $P_2 = -97$  дБм;

*антена передавача* з коефіцієнтом підсилення  $P_1 = +1$  дБ;

*антена приймача* з коефіцієнтом підсилення  $P_2 = +7.7$  дБ.

Тоді загасання в середовищі дорівнює:

$$V = P_2 - P_1 + G_1 + G_2 = 30 - (-97) + 1 + 7.7 = 135.7 \text{ dB} \quad (2)$$

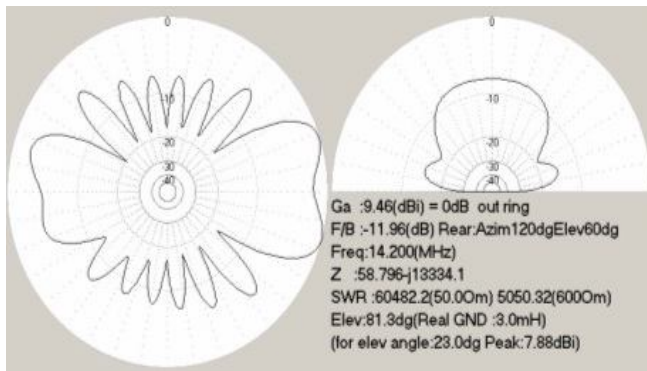


Рис. 4. Характеристика антени UT5UUV/P

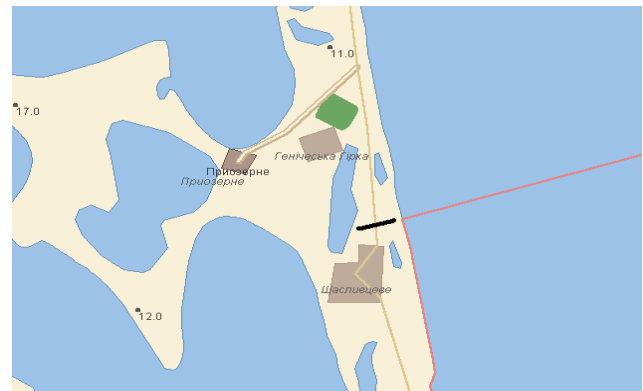


Рис. 5. Визначення кута розміщення полотна антени UT5UUV/P за картою [10]

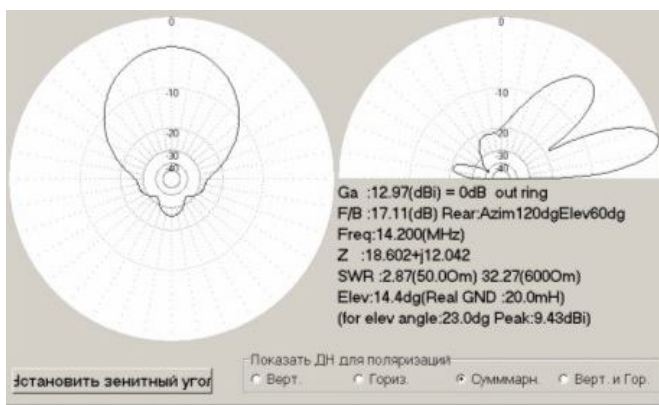


Рис. 6. Характеристика антени F4EIZ/P

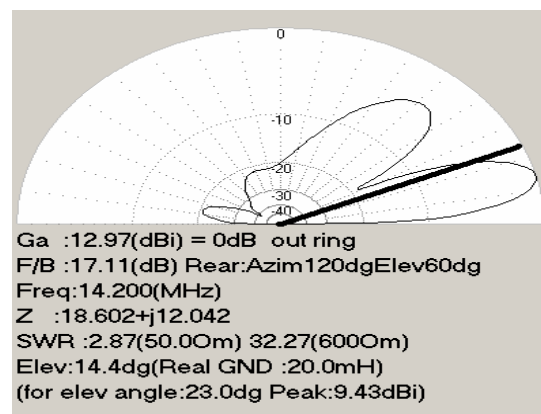


Рис. 7. Визначення коефіцієнта підсилення антени F4EIZ/P за зенітним кутом

Отримане загасання на радіотрасі і є результатом експерименту – значенням коефіцієнту ослаблення  $V$ .

Правила обробки даних прямого багаторазового експерименту наведено нижче. При проведенні прямого вимірювання [11, 12] загасання необхідно:

1. Провести багаторазові вимірювання при одних і тих же умовах і записати їх у таблицю.

2. Розрахувати середнє значення за формулою 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i . \quad (3)$$

3. Обчислити оцінку дисперсії 
$$\sigma^2 = S_n^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} \quad (4)$$

4. Обчислити середньоквадратичне помилку середнього 
$$S_x = \frac{S_n}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

Табл. 2

Об'єм <i>n-1</i>	Імовірність <i>P</i>			
	68.3%	95%	99%	99.73%
(1)	(1.8)	(12.7)	(64)	(235)
2	1.32	4.70	9.9	19.2
3	1.20	3.18	5.8	9.2
4	1.15	2.78	4.6	6.6
5	1.11	2.57	4.0	5.5
6	1.09	2.45	3.7	4.9
7	1.08	2.37	3.5	4.5
8	1.07	2.31	3.4	4.3
9	1.06	2.26	3.2	4.1
10	1.05	2.23	3.2	4.0
15	1.03	2.13	3.0	3.6
20	1.03	2.09	2.8	3.4
30	1.02	2.04	2.8	3.3
50	1.01	2.01	2.7	3.2
100	1.00	1.98	2.6	3.1
200	1.00	1.97	2.6	3.0

5. Обрати рівень довірчої ймовірності *P*. Тоді коефіцієнт Стьюдента визначається як  $t(P, n - 1)$ , а модуль довірчого інтервалу – 
$$\Delta x = S_x \cdot t(P, \nu) \quad (6)$$

Знаходимо  $t(P, n - 1)$  відповідно до об'єму вибірки та бажаної ймовірності *P* (табл. 2):

6. Округливши відповідні результати, записати відповідь у вигляді  $X = x \pm \Delta x$  при довірчій ймовірності *P*.

Слід приділити увагу похибкам, що виникають при вимірюванні, а саме природі виникнення та класифікувати їх. Помилки вимірів виникають внаслідок того, що вимірювальні прилади мають обмежену точність, не завжди можна врахувати вплив неконтрольованих експериментальних умов.

Іноді сама природа досліджуваного явища є основною причиною розбіжності у вимірюванні. Помилки вимірів прийнято поділяти на два типи - систематичні і випадкові.

Систематичними називають такі помилки, які викликаються факторами, діючими однаковим чином при багаторазовому повторенні одних і тих же вимірювань. Прикладом може бути некоректне представлення землі в обчислювачі MININEC MMANA або, навіть некоректний замір потужності власного передавача.

Випадкові помилки (відхилення) завжди присутні в експерименті. При відсутності систематичних помилок вони служать причиною розкиду результатів повторних вимірювань як між собою, так і щодо істинного значення вимірюваної величини. Природа випадкових помилок може бути різною. Збільшуючи кількість вимірювань і використовуючи формули теорії помилок, можна отримати досить точну оцінку випадкової помилки. Випадкові помилки послідовних вимірювань, як правило, незалежні і характеризуються тим чи іншим законом розподілу (див. нижче). Вони мають властивість концентрації, тобто малі за абсолютною величиною випадкові помилки зустрічаються частіше, ніж великі.

Слід особливо виділити такий вид помилки, як грубий прорахунок - промах. Під промахом розуміється помилка вимірювання, зроблена внаслідок недогляду експериментатора, або викликана несправностями апаратури. Так, наприклад, неправильно записаний відлік, і т.п. є промахами, яких слід по можливості уникати. Як правило, грубі помилки легко виявляються.

Такі вимірювання слід відкидати, хоча при цьому бажано визначити причину даного промаху.

Наведемо приклад промаху, що часто зустрічається під час експерименту. Пострадянські радіостанції типово, навіть не під час змагань, надають оцінку сили сигналу кореспонденту - стандартний рапорт "59", навіть, якщо кореспондента чути на "33". Рапорту "59" відповідає сила сигналу 50 мкВ, а рапорту "33" - сила сигналу відповідно 0.8 мкВ. Промах немалий – 54 дБ.

Причина тому – звичайні амбіції. Бажання перебільшити можливості та якість своєї приймальної апаратури [2, 4].

Систематичні помилки, властиві системі вимірювань, повинні бути виявлені і ліквідовані (або враховані при обробці даних). Решта невиявлених систематичних помилок вносять в результати вимірювань невідомі зрушення щодо дійсного значення.

Оскільки практично неможливо виявити всі систематичні помилки, навіть дуже точні вимірювання різних авторів можуть не збігатися.

Можна сказати, що майстерність експериментатора полягає в мистецтві виявлення систематичних помилок.

Якщо вдалося знизити до досить низького рівня систематичні помилки, то точність вимірювань визначається тепер випадковими похибками. Якщо ж точність вимірювань визначається випадковими помилками, то вона може бути піддана статистичному аналізу.

Врахувавши вищенаведене, проведемо обрахунки для серії експериментів під час змагань UBA CONTEST [13]. Дистанція відповідно 1500 км

Отже маємо першу вибірку значень загасання на радіотрасі (дБ) для азимутальних кутів 270-300 градусів яка охоплює Німеччину, Данію – відстань 1500 км: 130, 102, 124, 122, 108, 105, 120, 126, 109.

$$\text{Розрахуємо відповідно до (3) середнє значення загасання } \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = 116.22 \text{ дБ} \quad (8)$$

$$\text{Оцінка дисперсії (4): } \sigma^2 = S_n^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)} = 105.19 \quad (9)$$

$$\text{Середньоквадратична помилка середнього (5): } S_x = \frac{S_n}{\sqrt{n}} = 3.42 \quad (10)$$

Обираємо рівень довірчої ймовірності  $P=0.99$ . Тоді (6) за коефіцієнтом Стьюдента  $t(P, n-1)$  та модулем довірчого інтервалу маємо  $\Delta x = S_x \cdot t(P, \nu) = 3.4 \cdot 3.42 = 11.62$  (11)

Якщо  $t(P, n-1)$ , відповідно:

$n-1$	$P=68.3\%$	$P=95\%$	$P=99\%$	$P=99.73\%$
8	1.07	2.31	3.4	4.3

А отже загасання:  $V = 116.22 \pm 11.62$  дБ (12) при довірчій ймовірності  $P=0.99$ .

Аналогічно за все змагання отримано 37 замірів для дистанції 1500км і відповідно загасання:  $V = 111.89 \pm 4.45$  дБ при  $P=0.99$  такій самій, як і в попередньому випадку.

Таким чином, проведений аналіз та отримані оцінки свідчать про можливість суттєвого поліпшення достовірності прогнозування умов радіозв'язку гекто- та декаметрового діапазону на основі статистичної обробки даних про сеанси зв'язку аматорської служби під час міжнародних змагань з метою отримання великої кількості вибірок за досить короткий проміжок часу. Для досягнення цієї мети постійно ведеться участь у міжнародних змаганнях з радіозв'язку автора цієї статті UT5UUUV. Запропонований підхід та розроблені процедури обробки статистичних даних ілюструють, по суті, можливість "обміну" кількості спостережень на якість (точність, достовірність) результатів обробки.

### Література

1. Міжнародний радіоаматорський портал <http://www.qrz.com>
2. Російський радіоаматорський портал <http://www.qrz.ru>
3. Ред Э. Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике // Ред Э. М.: Мир, 1989. – 256 с.
4. Дроздов В. В. Любительские КВ трансиверы / В. В. Дроздов. – М.: Радио и связь, 1988. – 176 с.: -(Массовая радиобиблиотека: вып. 1118 ).
5. Бунин С. Г. . Справочник радиолюбителя-коротковолновика / С. Г. Бунин, Л. П. Яйленко. –[2-е изд.], перераб. И доп.– К.:Техніка, 1984. –264 с.
6. Ротхаммель К. Антенны / Ротхаммель К. : пер. с нем. – [3-е изд.] – М.: Энергия, 1979. – 320 с.
7. Ресурс DL2KQ присвячений моделювальнику MMANA <http://www.qsl.net/dl2kq/mmana.htm>
8. Український CALLBOOK <http://uar1.com.ua/callbook/index.htm>
9. Радіозв'язок. Терміни та визначення // ДСТУ 3254-95.
10. Мапа <http://www.ukrmap.kiev.ua>
11. Румшицкий З. Л. Математическая обработка результатов эксперимента / З. Л. Румшицкий. – М.: Наука, 1971.
12. Мантуров О. В. Курс высшей математики / О. В. Мантуров. – М.: Высш. школа, 1991.
13. Сайт Бельгійської радіологіи UBA <http://www.uba.be>