

праць «Системи обробки інформації». – Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2012. – Вип.2 (100). – С. 271 – 275. 2. Азаренко Е. В. Компьютерный эколого – экономический мониторинг как информационно – техническое средство управления экологической безопасностью / Е. В. Азаренко, Ю. Ю. Гончаренко, М. М. Дивизинюк // *Наук.-техн. журнал «Сучасний захист інформації»*. – Київ: ДУІКТ, 2012. – Спецвипуск. – С. 53 – 56. 3. Гончаренко Ю.Ю. Иприт и особенности его трансформации // *Сб. науч. тр. МГИ НАН Украины «Системы контроля окружающей среды»*. – Севастополь: МГИ, 2012. – Выпуск 18. – С. 25-29. 4. Азаренко Е. В. Закономерности трансформации иприта в эмульгированное состояние / Е. В. Азаренко, Ю. Ю. Столярчук // *Збірник наукових праць «Системи озброєння та військова техніка»*. – Харків: ХУПС ім. Івана Кожедуба, 2014. – Вип.4 (40). – С. 147-150. 5. Азаренко Е. В. Факторы определяющие экологическую обстановку в районе свала морских глубин северо – западной части Черного моря / Е. В. Азаренко, С. А. Чернявская, Ю. Ю. Гончаренко, // *Збірник наукових праць СНУЯЕтаП*. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2013. – Вип. 3 (47). – С. 202 – 208. 6. Азаренко Е. В. Система мониторинга чрезвычайных ситуаций в районах морских захоронений боевых отравляющих веществ/ Е. В. Азаренко, О. В. Бляшенко, М. М. Дивизинюк, В. Е. Ковач// *Збірник наукових праць «Моделирование та інформаційні технології»*. – Київ: Інститут проблем моделювання в енергетиці ім. Г.С. Пухова, 2014. – Вип. 73. – С. 79 – 86. 7. Азаренко Е. В. Компьютерный эколого – экономический мониторинг как информационно – техническое средство управления экологической безопасностью/ *Наук.-технич. Журнал «Сучасний захист інформації»*. – Київ: ДУІКТ, 2012. – Спецвипуск. – С. 53 – 56. 8. Дивизинюк М. М. Классификация чрезвычайных ситуаций социального характера/ М. М. Дивизинюк, О. В. Бляшенко, Т. В. Ковалюк// *Збірник наукових праць СНУЯЕтаП*. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2012.- Вип. 2(42). – С. 217 – 220. 9. Хорошко В. А. Проектирование систем технической защиты информации /В. А. Хорошко, М. М. Дивизинюк, Ю. Ю. Гончаренко и др. Учеб. пособие. – Севастополь: СНУЯЭиП, 2011. – 235 с. 10. Хорошко В. О. Методи керування інформаційною безпекою / В. О Хорошко, М. М. Дивізінюк, Ю. Ю. Гончаренко та інші. Навч. Посібник. – Севастополь: СНУЯЕтаП, 2010. – 328 с.

Андрій Паламарчук, Дмитро Вергелес, Володимир Гуменюк, Юрій Васильєв, Олег Белас*, Олег Іванько*, Сергій Мазор*

*ДержНДІ Спецзв'язку, *ІСЗЗІ НТУУ "КПІ"*

УДК 638.235.231

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕМЕНТА АНТЕННОЇ РЕШІТКИ ЯК ОПРОМІНЮВАЧА ПАРАБОЛІЧНОЇ АНТЕНИ ДЛЯ СТАНЦІЙ ТРОПОСФЕРНОГО ЗВ'ЯЗКУ

Анотація: Наведено дослідження антенної решітки, що є опромінювачем параболічної антени діапазону 4,5...4,7 ГГц. Симетричний вібратор (СВ) горизонтально розміщений над екраном, створює при довжині плеча $0,75\lambda$ "нерозвалену" діаграму направленості з провалом в центрі, що дозволяє підвищити коефіцієнт використання поверхні. В статті, також, показаний вигравш в підсиленні при використанні двох паралельних СВ.

Summary: Questions investigation array that is irradiator parabolic antenna range 4.5 ... 4,7GHz. Symmetric vibrator (SV) horizontally placed above the screen makes at shoulder length $0,75\lambda$ "not-disorganized" chart orientation of failure in the center, which improves utilization of surface. The paper also shows a gain in strengthening using two parallel SV.

Ключові слова: Опромінювач, антена решітка, симетричний вібратор, діаграма направленості, коефіцієнт підсилення, коефіцієнт направленої дії, власний опір, наведений опір.

І Вступ

Антенна станції тропосферного зв'язку є однією із найбільш складних частин апаратури. Внаслідок великого ослаблення поля при тропосферному поширенню радіохвиль та виникнення спотворень сигналів необхідно забезпечувати значну ефективну ізотропну випромінювану потужність (ЕІВП). Це можливо забезпечити шляхом збільшення коефіцієнта підсилення антени (G) та потужності передавача.

Для отримання необхідної ЕІВП, розглянуто можливість використання параболічної антени та розроблення багатоелементного опромінювача, який представляє собою решітку з двох груп лінійних симетричних вібраторів – опромінювачів. Антена з такими опромінювачами та певною кількістю малопотужних підсилювачів може забезпечити необхідну ЕІВП.

II Основна частина

В експерименті досліджувалась можливість встановлення зв'язку на відстань до 150 км у сантиметровому діапазоні хвиль (4,5...4,7 ГГц) для передачі потоку Е1. Для цього як передавальна антена застосовано параболічне дзеркало діаметром 1,5 м з новим опромінювачем, який є решіткою із декількох груп лінійних СВ. Антена живиться вісьмома підсилювачами потужністю 10 Вт кожний. Використання таких підсилювачів пов'язано з тим, що вони значно дешевші, ніж підсилювачі потужністю 80 Вт. У кожній групі СВ використовується по чотири СВ над екраном. Як опромінювачі використовуються СВ, розміщені паралельно в кожній групі. Групи можна орієнтувати паралельно (рис. 1), або ортогонально одна до одної (рис. 2). При відповідному живленні, тобто рівності амплітуд, ортогональному розміщенню груп та зсуву фаз між групами на 90° можемо досягти збудження хвилі кругової поляризації. Вібратори в кожній групі живляться синфазно.

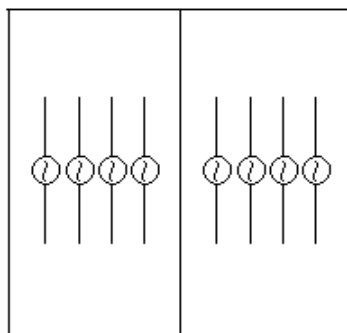


Рисунок 1 – Паралельно розташовані групи вібраторів

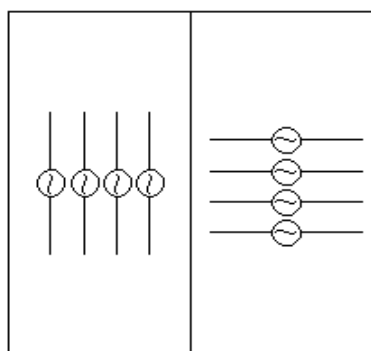


Рисунок 2 – Ортогонально розташовані групи вібраторів

На рис. 4 показано активну та реактивну складові вхідного опору СВ залежно від відношення $\frac{l}{\lambda}$, де l довжина плеча СВ. Видно, що точки $\frac{l}{\lambda} = 0,25$ і $\frac{l}{\lambda} = 0,75$ є точками резонансу, тобто в цих точках вхідний реактивний опір дорівнює нулю, а активний опір можемо зробити приблизно 50 Ом. [1], [2]. При згинанні вібраторів можемо виключити вплив паралельних струмів. Розподілення струмів вздовж вібраторів показані на рис. 3. Тобто за рахунок згинання плечей вібраторів при їх загальній довжині $0,75 \frac{l}{\lambda}$, можемо позбавитися від розвалу діаграми направленості (ДН). Як відомо, вхідний опір СВ, розташованого над екраном, не тільки залежить від відношення $\frac{l}{\lambda}$, але і від висоти над екраном. Коефіцієнт підсилення (G) СВ

залежить як від відношення $\frac{h}{\lambda}$, так і від відношення $\frac{l_r}{\lambda}$, де l_r – горизонтальна відносно екрану частина плеча вібратора. Розміщуючи вібратор на певній висоті, як показано на рис. 5, можливо досягти потрібної ДН, що видно з формули:

$$f(\theta, \varphi) = \cos[(kl \cos[\theta \sin \varphi] - \cos kl)] / \nu(1 - \cos 2\theta \sin 2\varphi) \sin[(kh \sin \theta)] \quad (1)$$

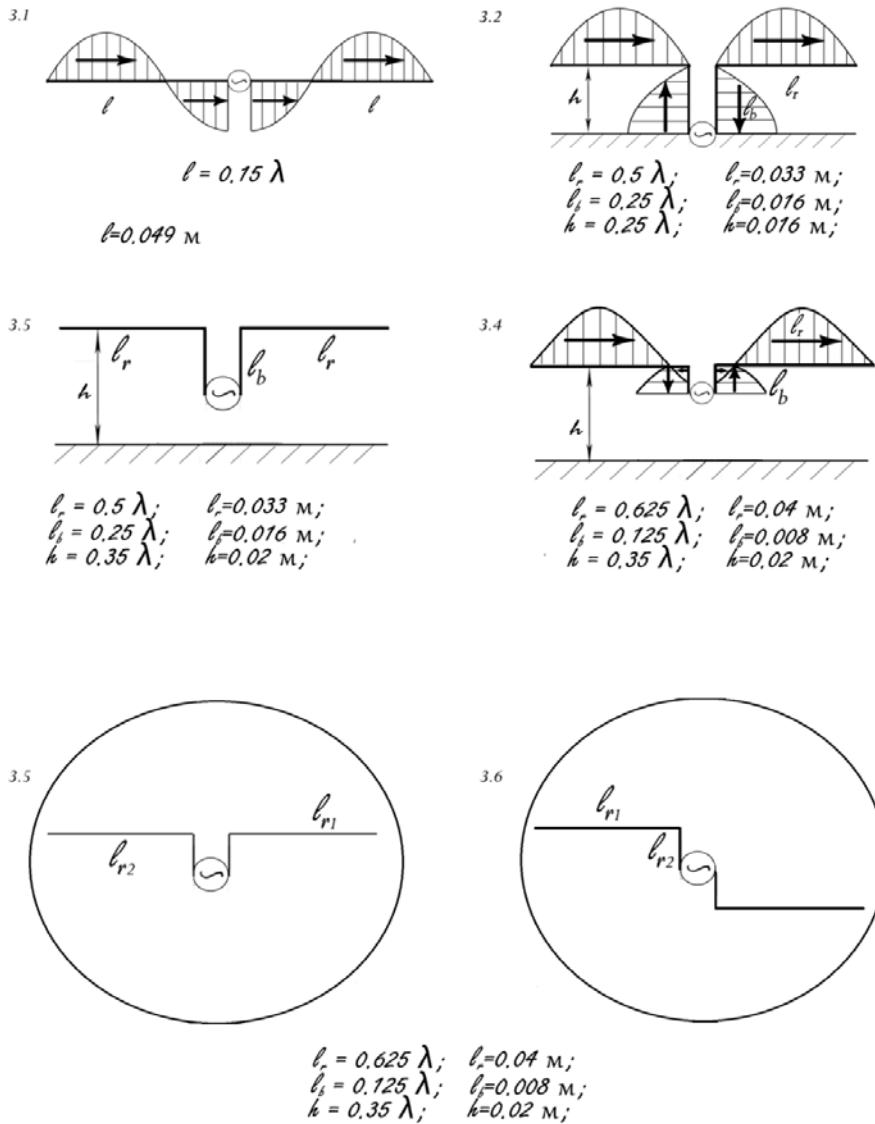


Рисунок 3 – Варіанти згину та розташування вібраторів довжиною $0,75\lambda$

Принцип дії такого опромінювача зрозумілий з рис. 4.

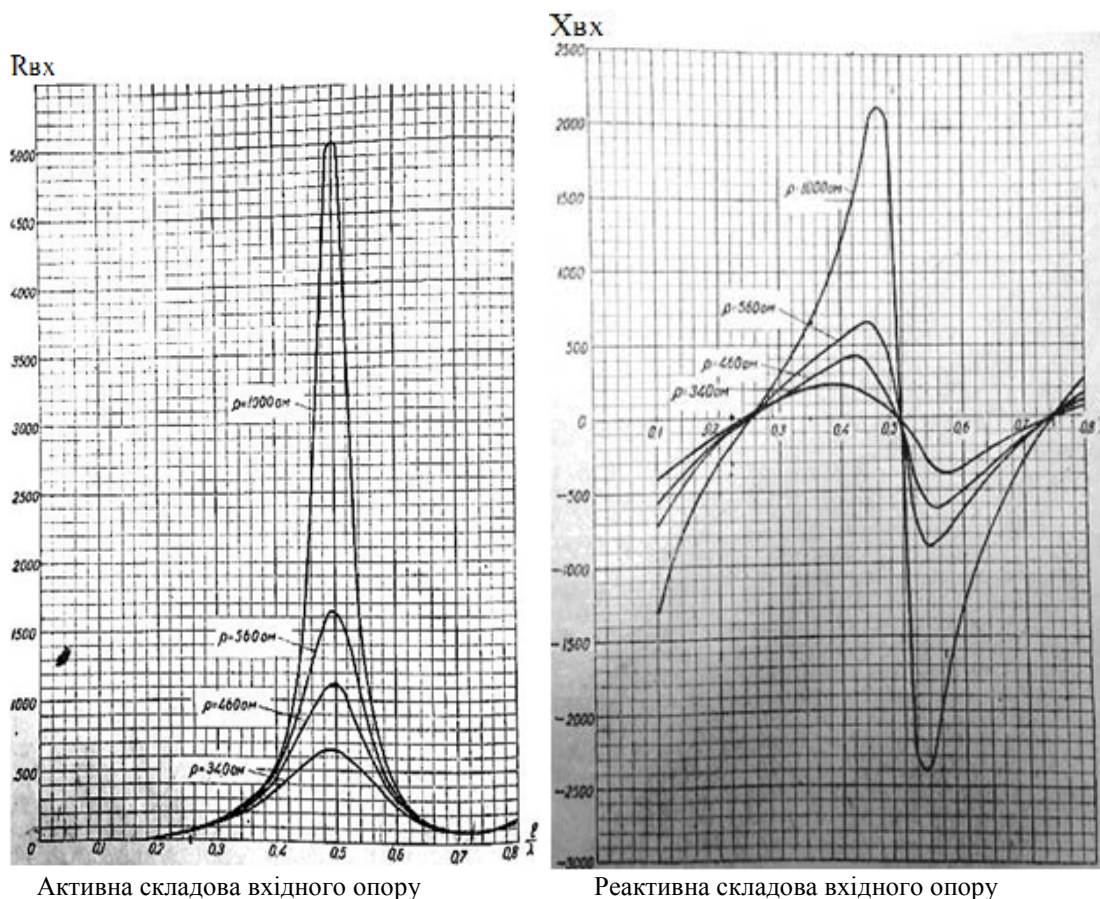


Рисунок 4 – Вхідний опір симетричного вібратора

За цією формулою ми можемо в першому наближенні розрахувати ДН горизонтальних СВ на певній висоті h над екраном залежно від кута θ (кут між перпендикуляром і екраном) та кута φ (кут від перпендикуляру до вібратора в площині екрану). Опромінювач має досить великі габарити і розміщується в фокальній області параболічного дзеркала, що пов'язано з конструктивними особливостями саме параболоїда (діаметром 1,5 м), який було використано для досліджень. Центр дзеркала затіняється, а тому немає сенсу його опромінювати. Потрібно обрати випадок відповідно до кривої на рис. 5, коли $h = 0,35 \lambda$, де h - відстань від вібратора до екрану. Конструкції СВ над екраном показані на рис.3.3 – 3.6, а експериментальна ДН на рис. 14, 15.

Всі вібратори на рис. 3 мають загальну довжину плеча $0,75\lambda$. Досліджувалися різні варіанти вигину, розташування вібраторів відносно екрану, в тому числі і на різних висотах. На рис. 3.1 показано розподіл струму стоячої хвилі вздовж плечей вібратора, і якщо форму плечей не змінити, то через великий негативний струм ДН розвалиться. На рисунках 3.2 – 3.4 показаний СВ, розташований над екраном, при різних довжинах горизонтальних l_r і коаксіальних l частин плечей вібраторів. Горизонтальні частини l_r власне і є випромінюючими елементами. На рис. 3 показано розподіл струмів для випадків, коли l_r дорівнюють $0,5\lambda$ і $0,625\lambda$.

Вібратори, в яких горизонтальні частини l_r , дорівнюють $0,5\lambda$, легше узгоджуються, а від вібраторів довжиною $0,625\lambda$ можна отримати найбільше підсилення. В експериментальних випромінювачах на рис. 3.2 – 3.4 частини вібраторів біля струму живлення розташовуються вертикально і струми на них паралельні. На рис. 3.5 і 3.6 ці паралельні ділянки мають колінеарні протилежно направлені струми. На рис. 3.5 їх випромінювання компенсується протилежно направленими струмами та їх дзеркальними зображеннями, а на рис. 3.6 паралельні струми направлені в один бік, за рахунок чого з'являються додаткові випромінюючі ділянки, хоча і невеликої довжини ($0,007\lambda$). Це дає невелике збільшення підсилення та при цьому, як впливає з рис. 13, також змінюється ДН, і вона стає більш рівномірною в площині розкриття дзеркала.

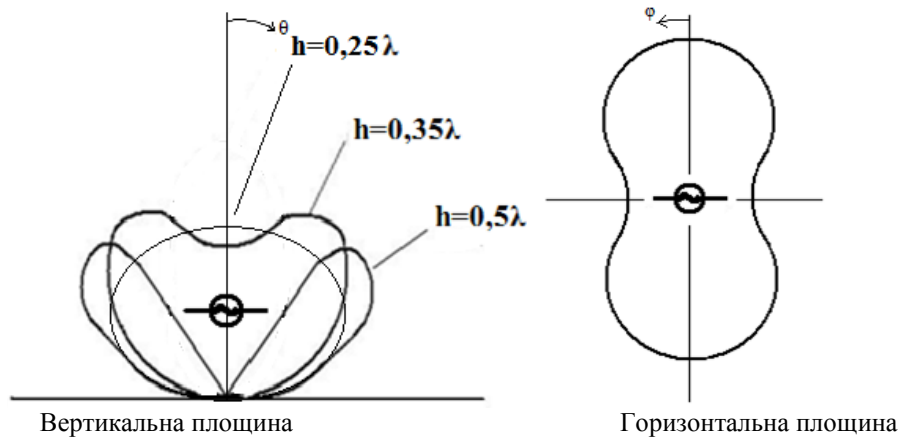


Рисунок 5 – Залежність ДН СВ над екраном від висоти підйому

Виходячи з того, що висота розміщення горизонтальної частини вібратора над екраном визначає потрібну ДН, величина $h = 0,35\lambda$ нам задана. Потрібний вхідний опір вібратора 50 Ом визначається вихідним опором підсилювача. Підсилення вібратора буде визначатися величиною горизонтальної частини плеча l_τ і його відстанню від екрану h . Попередній розрахунок цих величин проводився за графіками, представленими на рис. 6. Потрібно врахувати, що хоча G визначається величиною l_τ , вхідний опір СВ буде визначатися всією довжиною плеча вібратора l , яка й була розрахована за допомогою графіків для визначення власних і наведених опорів (рис. 4 та 6).

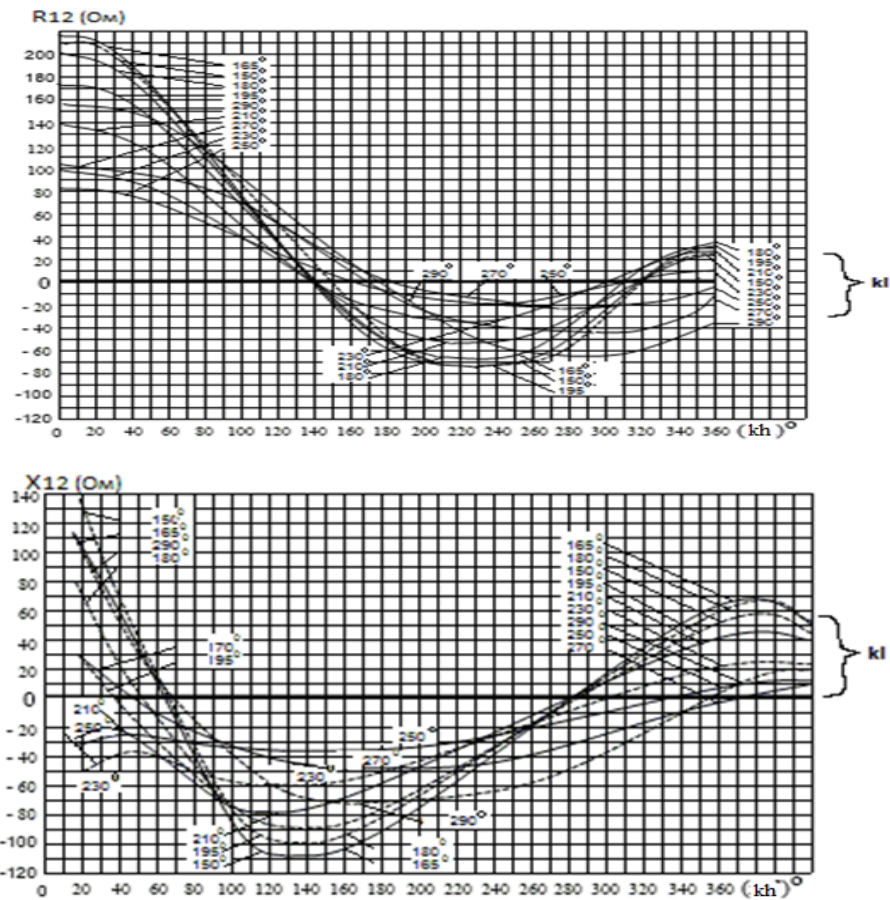


Рисунок 6 – Наведені опори дзеркально відображеного вібратора на реальний

Ці графіки дозволяють визначити наведений опір вібраторів. Згідно з методом дзеркальних зображень вплив екрана враховується за допомогою створення уявного (дзеркального) зображення. Тобто ми визначасмо наведений опір дзеркального зображення вібратора на реальний, враховуючи kl , де $kl = 2\pi \frac{l}{\lambda}$ и $kh = 2\pi \frac{h}{\lambda}$, тобто знаходимо потрібну криву і точку на кривій на графіках, зображених на рис. 6.

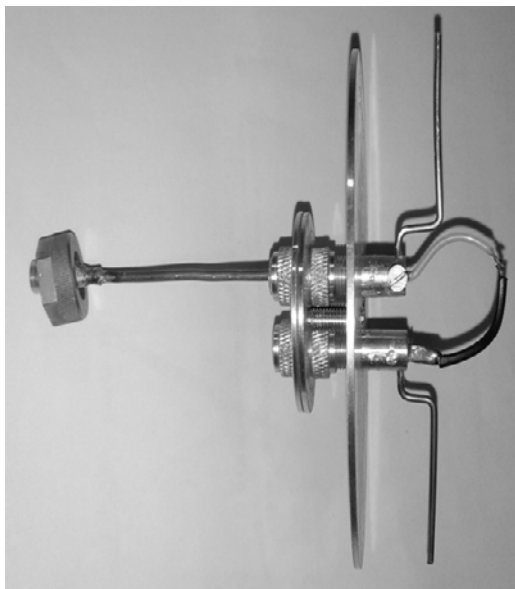
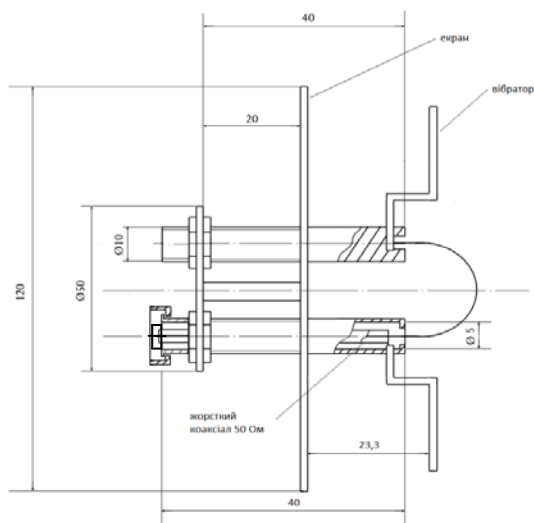


Рисунок 7 – Конструкція СВ довжиною 0.75λ над екраном (варіант)

Виходячи з проведених попередніх розрахунків було виготовлено експериментальний макет (рис. 7) з можливістю зміни відстані між провідниками, які живлять вібратор, тобто двопровідної лінії, розмір цієї лінії над екраном, місця згину плечей вібратора та їх поворот над екраном. Крім того розроблений макет, дозволяє дослідити два вібратора. Можемо змінювати орієнтацію випромінювачів, відносно один до одного і відстань між ними (рис. 8.а, 8.б). Виставляючи зсув фаз між вібраторами $\frac{\pi}{2}$ за рахунок різниці в довжинах кабелів живлення і встановлюючи їх ортогонально можливо отримати хвилю кругової поляризації (рис. 8).

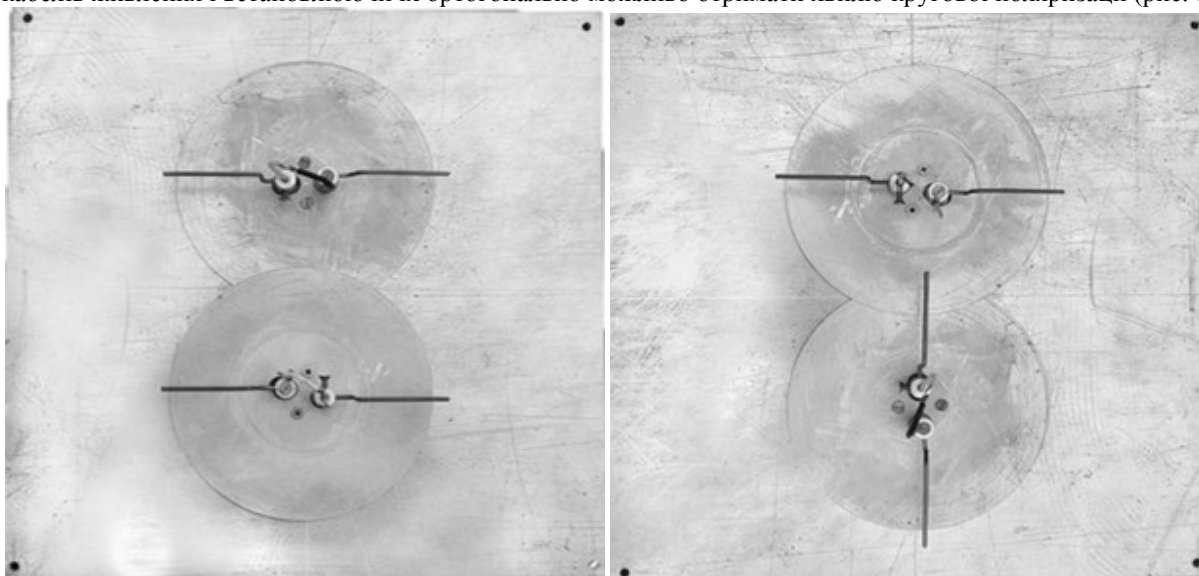


Рисунок 8 – Розташування симетричних вібраторів

На рис. 8 показані випадки паралельно і перпендикулярно розміщених вібраторів.

Електричні характеристики одного та двох СВ досліджувались за допомогою вимірювача комплексних коефіцієнтів передачі P2-58. Налаштування окремого СВ попередньо проводилися по мінімальному коефіцієнту стоячої хвилі (КСХ), а потім по максимальному G в діапазоні частот. В першому випадку пристрій ставиться в режим порівняння падаючої та відбитої хвиль. Схема вимірювань для одного СВ та решітки із двох вібраторів представлена на рис. 9. В схемі живлення був задіяний чвертьхвильовий трансформатор для живлення решітки з двох вібраторів (рис. 9).

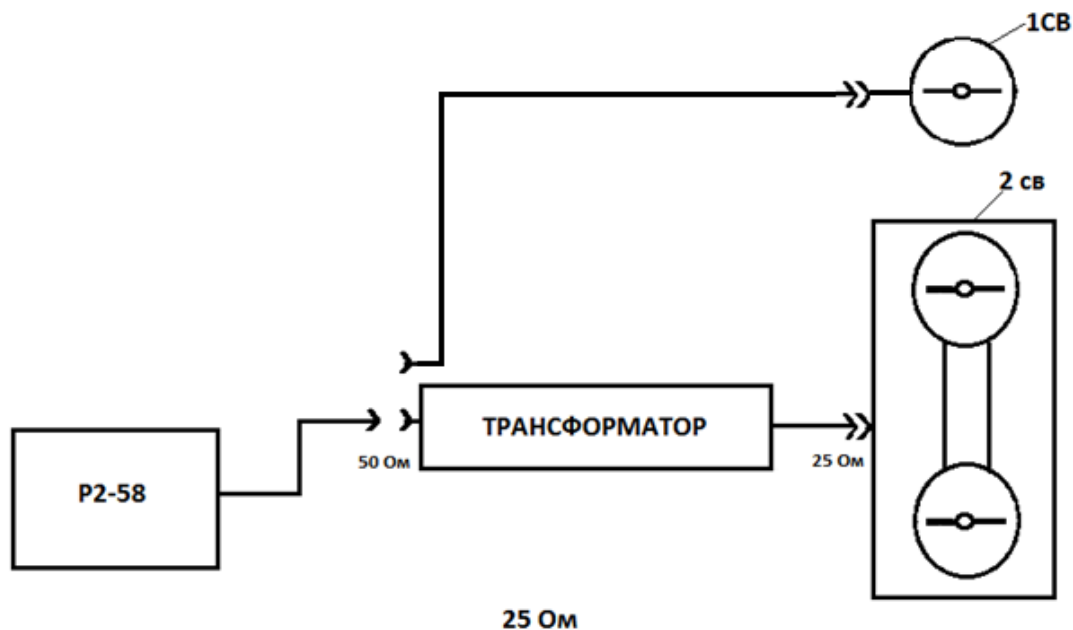


Рисунок 9 – Установка для вимірювання КСХ

На рис. 10 показана схема вимірювання зовнішніх характеристик ДН і коефіцієнту підсилення G . При цьому прилад ставиться в режим вимірювання затухання в лінії, в даному випадку радіолінії з двох антен і простору між ними. Вимірювання проводилися методом антени, що обертається (в нашому випадку передавальна). Приймальна антена, якою був вібратор (рис. 11), підключалась до показчика рівня пристрою P2-58.

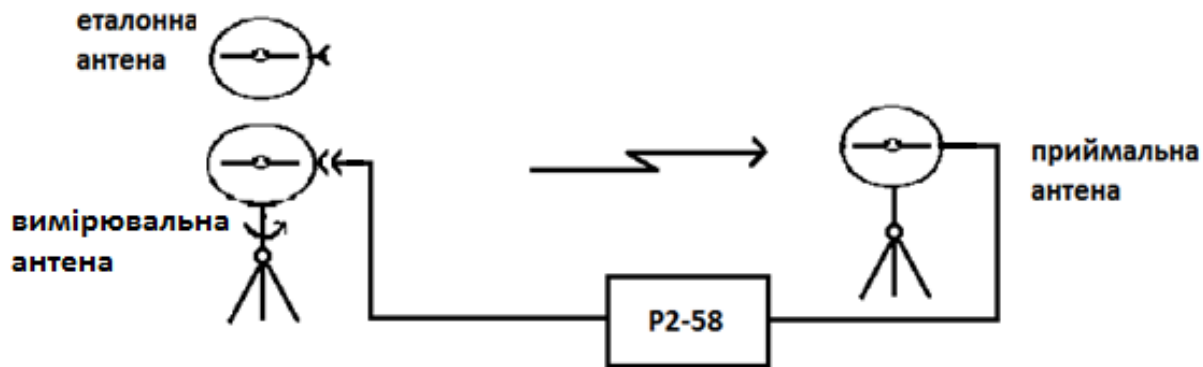


Рисунок 10 – Схема вимірювання зовнішніх характеристик

Коефіцієнт підсилення антени порівнювався з коефіцієнтом підсиленням еталонної антени.

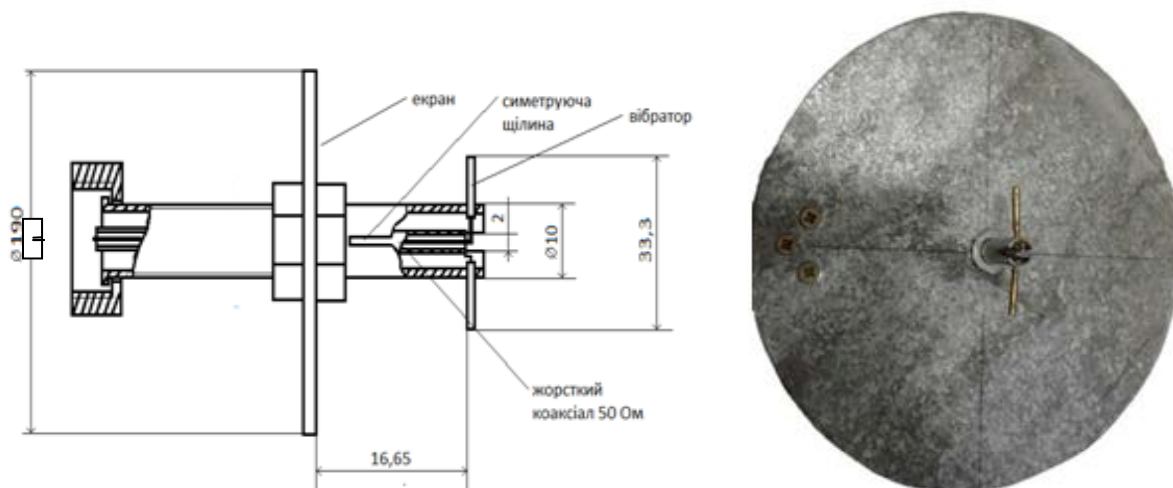


Рисунок 11 – Конструкція приймального вібратора.

В процесі підготовки експеримента було виготовлено два таких однакових вібратора. Налаштування еталонної антени та її підсилення здійснювалось за допомогою калібрувального вимірювального рупору ПБ-23 в камері без відлуння. Електричні характеристики еталонного СВ і приймальної антени представлені на рис. 12 – 15. Коректність таких вимірювань слідує з того, що ці виміри попередні, оскільки виникне необхідність налаштування опромінювачів в складі параболічної антени. Остаточні вимірювання електричних характеристик також проводяться в камері без відлуння. Електричні характеристики одного СВ над екраном представлені на рис.12 – 14. Тут вибрані найкращі характеристики за критеріями КСХ, коефіцієнтів підсилення (G) та ДН в вертикальних Н- та Е- площинах. На рис. 15 представлені ДН еталонного СВ та приймальної антени.

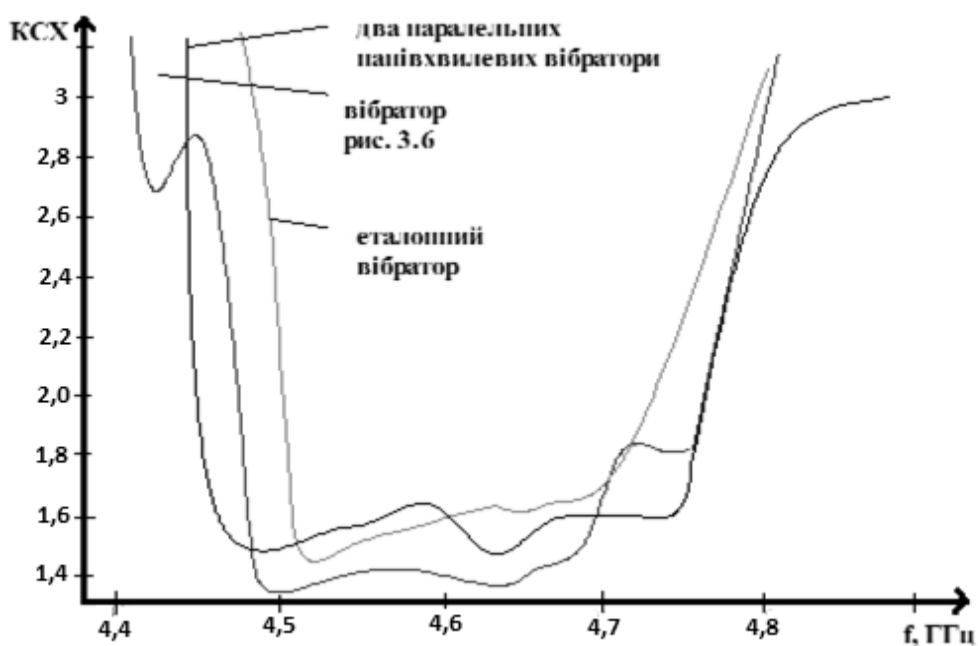


Рисунок 12 – Результати вимірювання КСХ

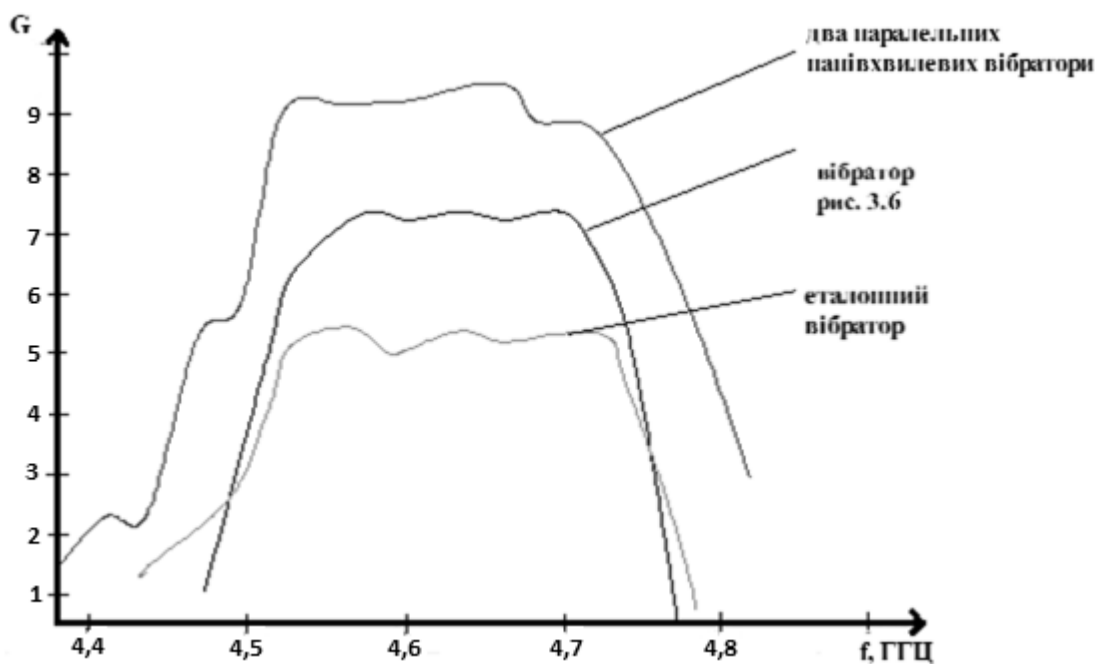
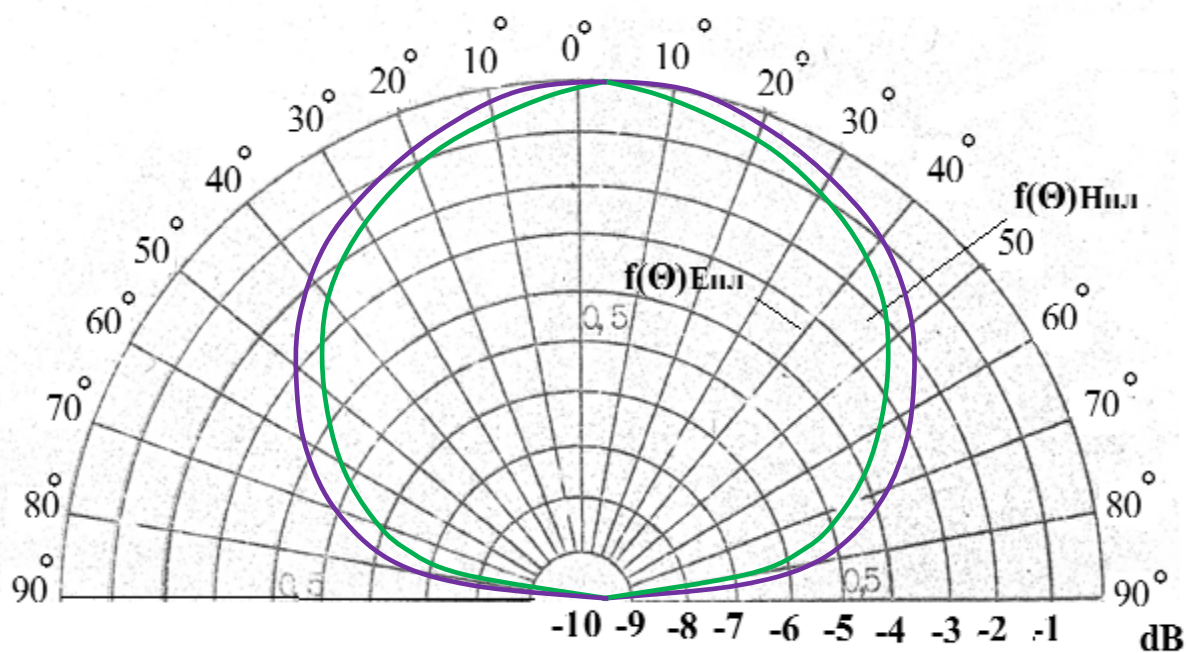


Рисунок 13 – Результати вимірювання коефіцієнта підсилення



$$\Theta^{\circ} E_{пл} = 100^{\circ} \quad \Theta^{\circ} H_{пл} = 113^{\circ}$$

Рисунок 14 – ДН еталонної та приймальної антен у вертикальній площині

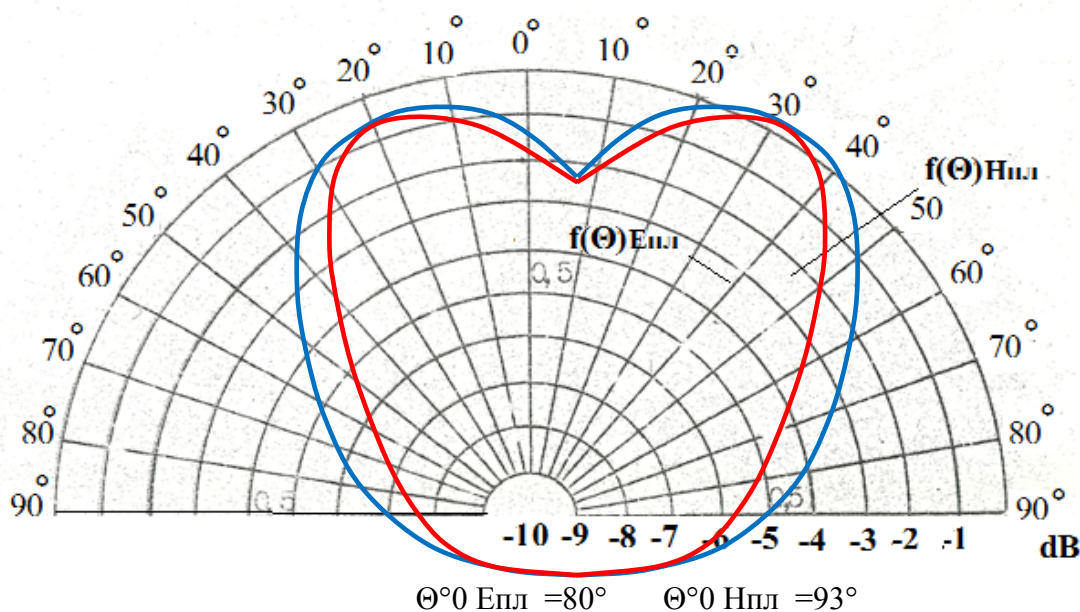


Рисунок 15 – ДН еталонного СВ та приймальної антени у вертикальній площині

Проведені розрахунки і налаштування випромінювачів є попередніми. Як було зазначено вище, передбачається робота двох четвірок випромінювачів. При цьому зрозуміло, що при остаточному відпрацюванні конструкції необхідно буде враховувати дуже багато факторів, таких як: реакція дзеркала, вплив вібраторів і груп вібраторів один на одного, діаметри вібраторів, хвильовий опір живлення, ліній, вплив екрану опромінювача та інше. При цьому геометрія випромінювача з лінійною поляризацією (всі СВ розміщені паралельно) і круговою поляризацією (дві ортогонально розташовані четвірки) будуть відрізнятися через різні величини наведених взаємних опорів, але ця різниця усувається схемами живлення.

Досліджені вібратори дали можливість відстежити основні тенденції зміни електричних характеристик плечей вібраторів залежно від їх розміщення над екраном. Основним результатом можна вважати отримання елемента решітки. Попередні розрахунки і дослідження дозволяють зробити висновок, який впливає з графіків на рисунках 12 – 14, що є сенс як СВ вибрати вібратор, схематично зображений на рис. 3.6.

III Висновки

Досліджено вібратор над екраном та визначено його конструкцію. Досліджена пара вібраторів з можливістю отримання лінійної та кругової поляризації. Виміряні ДН і коефіцієнт підсилення експериментальної антени. Досліджено електричні характеристики СВ над екраном і проведена його оптимізація. Досліджено геометрію живлячої лінії, висоту точки живлення вібраторів, місце вигину плечей вібратора і їх орієнтацію відносно екрана.

З аналізу отриманих результатів можна зробити висновок, що експериментальні результати збігаються з очікуваними для вибраної конструкції СВ і ще двох СВ. Виходячи з цього можна говорити про можливість побудови опромінювача у вигляді решітки з двох груп СВ, який зможе забезпечити значне підсилення параболічної антени (дзеркало діаметром 1.5 м.). Це має дозволити при використанні восьми 10 Вт-них підсилювачів отримати зв'язок на відстані понад 150 км з можливістю передачі потоку Е1 (2,048 кБіт/с).

Список використаної літератури: 1. Гавеля Н. П. и др. Антенны. Часть 1 / Н. П. Гавеля и др. – Ленинград, 1963. – 629с. 2. Ерохин Г. А. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн / Г. А. Ерохин, О. В. Чернышев, Н. Д. Козырев, В. Г. Кочержевский. – Москва, 2004, Выпуск 2. – 491с. 3. Мазор С. Ю., Белас О. М. “Опромінювач лінійної поляризації для параболічної антени”. – К.: ВІКНУ. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – Вип. 46. 2014р. – с. 6-12. 4. Сергей Мазор, Андрей Демаш, Андрей Паламарчук, Сергей Усенко, Алексей Юдин. Некоторые результаты натуральных исследований макета приемного модуля станции тропосферной связи нового поколения. - Сб. Правове, нормативне та метрологічне забезпечення систем захисту інформації в Україні, - вип. 1 (27). 2014 р.