

**Вадим Петрович Бунаков** (начальник науково-дослідної лабораторії)

**Дмитро Станіславович Завадський** (молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії)

**Олег Олексійович Волошин** (молодший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії)

**Сергій Йосипович Слободенюк** (науковий співробітник науково-дослідної лабораторії)

**Військова частина А4566, Київ, Україна**

## МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННОЇ СИСТЕМИ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СТАНЦІЇ П-18

В статті запропоновано варіант рішення наукової задачі моделювання діаграми спрямованості масової радіолокаційної станції метрового діапазону хвиль з використанням бета-версії спеціалізованого програмного продукту MMANA-GAL. Всі попередні модернізації радіолокаційної станції типу П-18 не були пов'язані з модернізацією однією з основних систем радіолокаційної станції, її антенної системи, яка залишилася незмінною і у її наступників, радіолокаційна станція П-18МА, П-18МУ, П-18 "Малахіт". Для подальшої модернізації цієї радіолокаційної станції або створення нової радіолокаційної станції метрового діапазону необхідно провести моделювання її антенної системи, основним елементом якої є антена типу "хвильовий канал".

Для вирішення цього завдання антена система радіолокаційної станції представлена трьома різними моделями, які враховують особливості активного вібратора. В ході дослідження проведено порівняння запропонованих моделей та оцінена їх адекватність результатам експериментальних вимірювань. В результаті отримано характеристики антенної системи що можуть бути використані для подальшої модернізації радіолокаційної станції П-18.

**Ключові слова:** антена, антена система, моделювання антенної системи.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Радіолокаційні станції (РЛС) метрового діапазону хвиль (МДХ) є основним джерелом інформації про повітряні об'єкти, та здатні ефективно виявляти та супроводжувати сучасні малопомітні засоби повітряного нападу (ЗПН) противника виконані за технологією "Стелс". Зараз використовуються двох та трьохкоординатні цифрові РЛС МДХ П-18МА, П-18МУ, П-18 "Малахіт".

Антенна система (АС) РЛС П-18 була розроблена наприкінці 70-х років минулого сторіччя, вона залишається незмінною і у її наступників: РЛС П-18МА, П-18МУ, П-18 "Малахіт". Основним елементом її АС є антена типу "хвильовий канал" (ХК).

Наступним кроком при проведенні подальшої модернізації цієї РЛС повинна стати реалізація просторово-часової обробки сигналу в АС РЛС, що неможливо реалізувати без проведення моделювання АС РЛС.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

На теперішній час для моделювання та розрахунку характеристик АС РЛС та її діаграми спрямованості (ДС) використовуються приблизні методи розрахунку, що реалізовані в пакетах Mathcad або Matlab.

Так, в [1, 2] наведені приклади розрахунку антен типу Уда-Ягі з використанням спеціалізованих програмних продуктів, що додатково встановлюються в середовище Matlab,

та дозволяють здійснити приблизну оцінку ДС та отримати характеристики антени в МДХ.

Враховуючи визначені проблемні питання, **метою статті** є оцінка можливості використання спеціалізованого програмного продукту MMANA-GAL (його безкоштовної версії) [3], для проведення моделювання характеристик антенної системи РЛС П-18, розрахунку амплітудної ДС в дальній зоні АР РЛС П-18, елементами якої є антени типу ХК.

### Методи дослідження

У ході дослідження вирішується задача багатокритеріального синтезу з використанням методу математичного моделювання.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Відповідно до [5], основним елементом антенної системи РЛС П-18 є антена типу ХК, яка представлена на рис.1. Довжина хвилі РЛС змінюється в межах від 1,67 до 2 метрів [5]. Для забезпечення такої діапазонності в антені ХК РЛС П-18 застосовано активний вібратор, який складається з шести пар активних випромінювачів, дія яких розглядається як дія одного випромінювача, що має поперечний розмір, порівнюваний з довжиною хвилі.

На рис. 1 представлено основний елемент АС РЛС П-18 – антена типу "хвильовий канал".

На рис. 2 представлена АС РЛС П-18, що сформована з 16 антен типу ХК, наведених на рис. 1.



Рис. 1. Антена “хвильвий канал”, що є основним елементом АС РЛС П-18

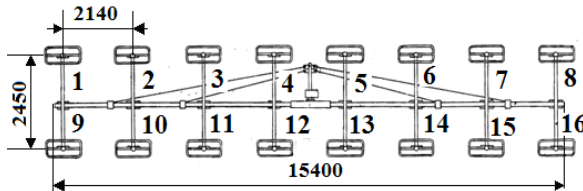


Рис. 2. Антенна система РЛС П-18

Представимо антену ХК, що наведена на рис. 1 у вигляді трьох моделей (рис. 3, 4, 5) та здійснимо розрахунок їх ДС та характеристик за допомогою програмного продукту [3].

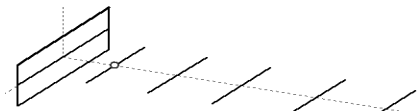


Рис. 3. 1-а модель антени ХК РЛС П-18

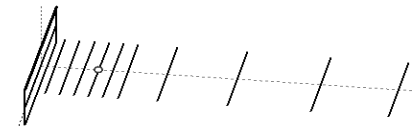


Рис. 4. 2-га модель антени ХК РЛС П-18

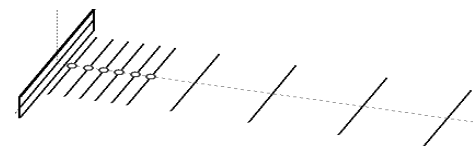


Рис. 5. 3-тя модель антени ХК РЛС П-18

Відповідно до технічного опису (ТО) на РЛС П-18, під час роботи на випромінювання, використовується лише один з шести випромінювачів, що відображено в моделі, представлений на рис. 3 (точкою позначено місце підключення джерела струму). Якщо використовувати лише представлення антени, що наведено на рис. 3, не враховується вплив інших п'яти вібраторів, що входять до складу активного вібратора. Таким чином, модель, що враховує наявність шести вібраторів з одним активним елементом наведено на рис. 4. Крім того, для забезпечення об'єктивності моделювання на рис. 5 представлена модель антени РЛС П-18 з шістьма активними антенами.

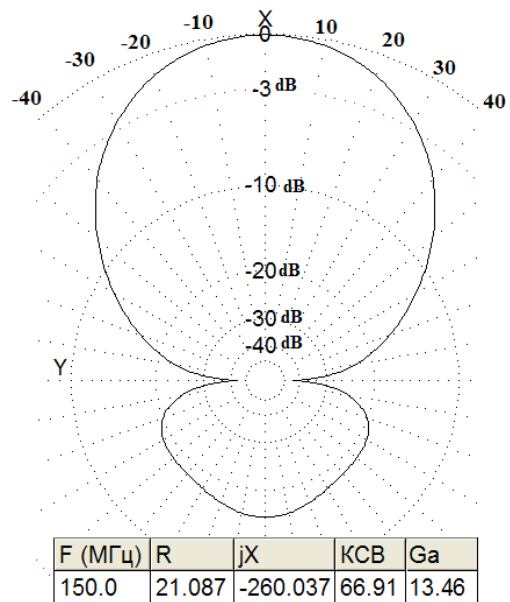


Рис. 6. ДС 1-ої моделі антени ХК, РЛС П-18 (рис. 3)

На рис. 6, 7, 8 представлені ДС у азимутальній площині антен ХК (рис. 3, 4, 5 відповідно), що розраховані з використанням програмного продукту [3] на частоті 150 МГц для активного вібратора, який знаходиться на відстані 32 см від рефлектора 1 та 2 моделей.

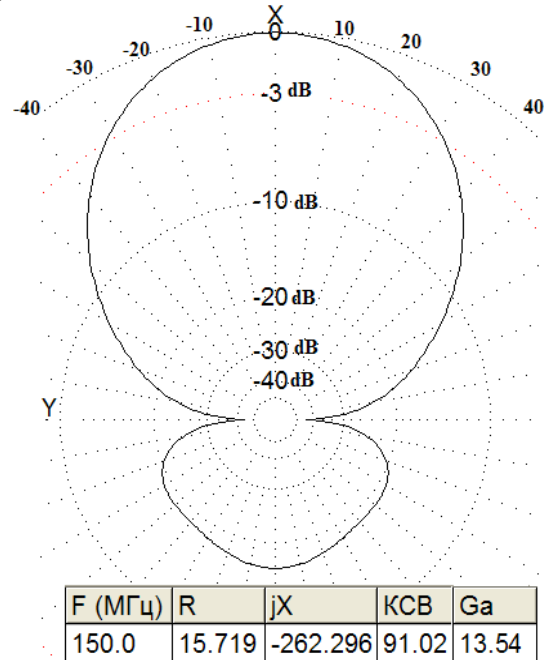


Рис. 7. ДС 2-ої моделі антени ХК, РЛС П-18 (рис. 4)

На рис. 9 наведено порівняння результатів моделювання ДС та характеристик антен типу ХК, що представлені на рис 3, 4, 5.

Після побудови ДС моделей антен ХК було проведено моделювання амплітудної ДС всієї АР РЛС П-18, що складалася відповідно з антен, моделі яких представлені на рис. 3, 4 та 5.

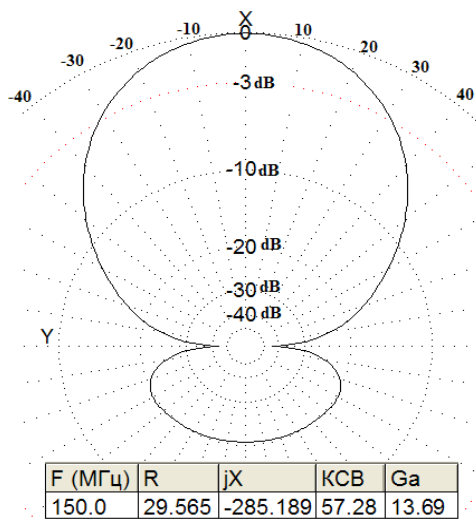


Рис. 8. ДС 3-ої моделі антени ХК, РЛС П-18 (рис. 5)

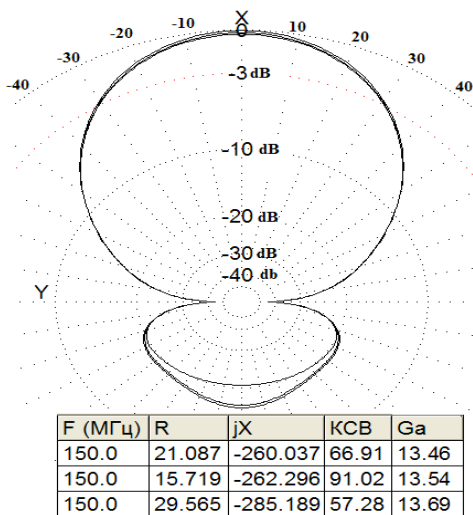


Рис. 9. Порівняння результатів моделювання антен типу ХК, представлених на (рис 3, 4, 5)

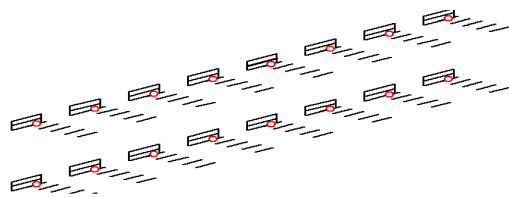


Рис. 10. Модель АС РЛС П-18, що складається з антени, представленої на рис. 3

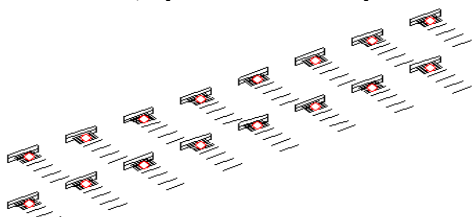


Рис. 11. Модель АС РЛС П-18, що складається з антени, представленої на рис. 4.

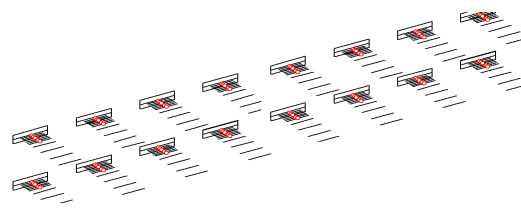


Рис. 12. Модель АС РЛС П-18, що складається з антени, представленої на рис. 5.

Результати моделювання ДС та характеристик РЛС П-18 для частоти 150 МГц, та активного вібратора, що знаходиться на відстані 32 см від рефлектора для антен, що наведені на рис. 10, 11, 12, представлені відповідно на рис. 13-15.

При цьому було враховано наступний розподіл потужності між антенами РЛС:

до верхнього “поверху” АС подається 40% високочастотної енергії передавача а до нижнього “поверху” антени – 60% енергії [4];

до 1, 2, 7, 8, 9, 10, 15, 16 антен ХК підводиться 6,25 % потужності, до 3, 6, 11, 14 антен ХК підводиться 12,5 % потужності та до 4, 5, 12, 13 антен ХК підводиться 12,5 % потужності (табл. 1);

ДС розрахована для висоти підйому нижньої секції АС 3,7 метрів.

Фаза струму, який підводиться до нижнього “поверху” антени випереджує по фазі струм що підводиться до верхнього “поверху” антени на  $90^0$  [4].

Таблиця 1

Амплітуда потужності по елементах антенної системи РЛС П-18 (рис. 2)

N ант	1	2	3	4	5	6
P (%)	2,5	2,5	5,0	10	10	5,0
N ант	7	8	9	10	11	12
P (%)	2,5	2,5	3,75	3,75	7,5	15,0
N ант	13	14	15	16		
P (%)	15,0	7,5	3,75	3,75		

У таблиці 1 наведено розподіл потужності по елементах антенної системи РЛС П-18.

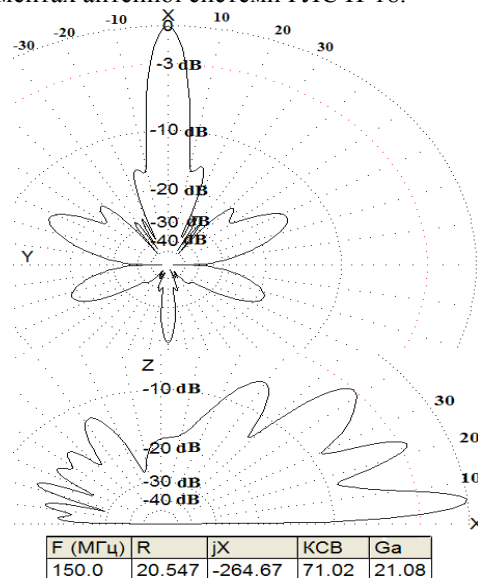


Рис. 13. ДС моделі АС РЛС, представленої на рис. 10

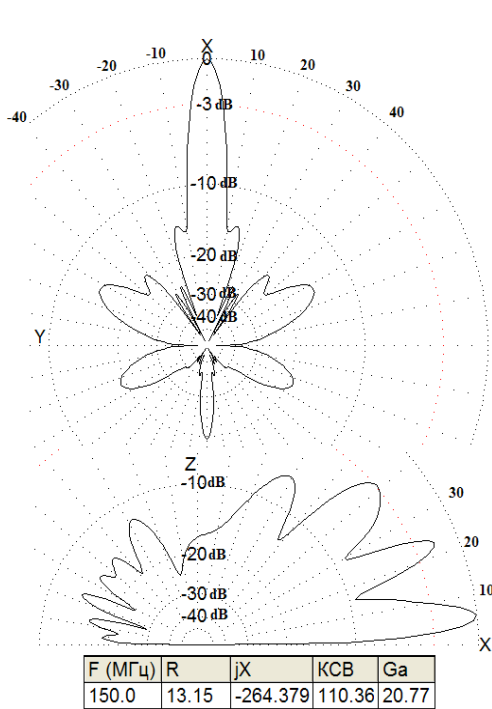


Рис. 14. ДС моделі АС РЛС, представленої на рис. 11

На рис. 16 представлені результати порівняння амплітудної ДС в азимутальній площині моделей АС РЛС П-18, що представлені на рис. 10, 11, 12 для частоти 150 МГц та висоти підйому нижньої секції АС 3,7 м.

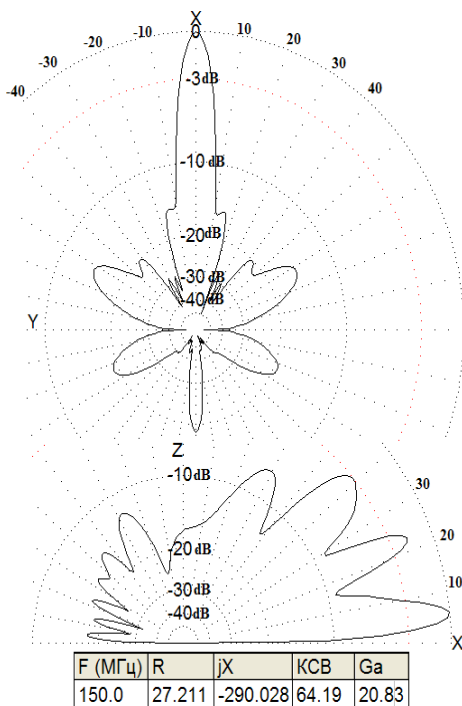


Рис. 15. ДС моделі АС РЛС, представленої на рис. 12

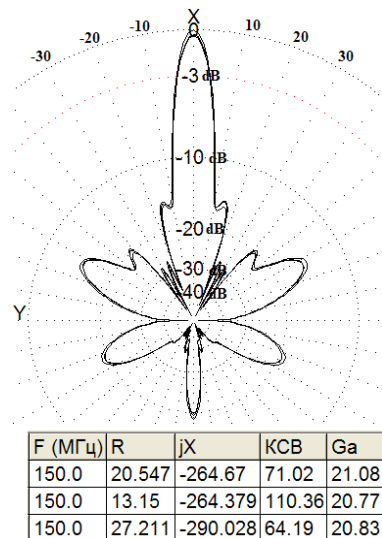


Рис. 16. Результати порівняння амплітудних ДС в азимутальній площині для моделей РЛС (рис. 10, 11, 12).

Порівнюючи результати моделювання амплітудних ДС РЛС П-18 в азимутальній та кутомітній площинах (рис. 16, 17) з результатами експериментальних вимірювань, що наведені в ТО РЛС П-18 (рис. 18, 19) [4], можна зробити висновок про те, що найбільш адекватною є модель АС РЛС П-18, що представлена на рис. 12.

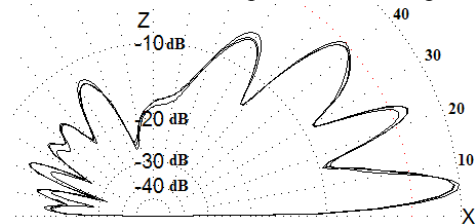


Рис. 17. Результати порівняння амплітудних ДС у кутомітній площині моделей РЛС (рис. 10, 11, 12).

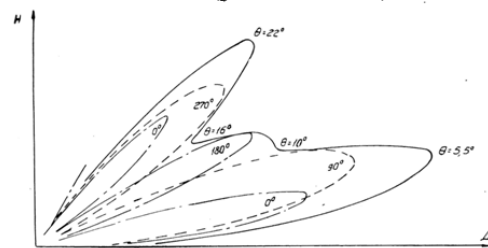


Рис. 18. ДС РЛС П-18 у кутомітній площині за даними експериментальної перевірки.



Рис. 19. ДС РЛС П-18 у азимутальній площині за даними експериментальної перевірки.

### Висновки й перспективи подальших досліджень

Таким чином, в статті запропоновано один із варіантів рішення завдання моделювання АС РЛС

П-18 з використанням програмного продукту [3], який дозволяє розрахувати основні характеристики АС РЛС П-18 (коефіцієнт підсилення, вхідний опір АС, коефіцієнт стоячої

хвилі) та побудувати амплітудну ДС РЛС П-18 в дальній зоні в азимутальній та кутомістній площинах.

### Література

1. **Radar** signals analysis and processing using Matlab. Bassem R. Mahafza. CRC Press. New York. 479 p. 2009. 2. **Radar** signals analysis and design using Matlab. Bassem R. Mahafza. CRC Press. New York. p. 532 2000. 3. **Instruction** Manual – J. Perkins Distribution [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

www.jperkinsdistribution.co.uk/downloads/3353000a.pdf 4. **РЛС П-18** (техническое описание, часть 1), Жг. 1.231.001 ТО, Горький, 1974, 257 с. 5. **Р-18** “Spoon Rest D” [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/karte909.en.html>.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК АНТЕННОЙ СИСТЕМЫ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ СТАНЦИИ П-18

*Вадим Петрович Бунаков* (начальник научно-исследовательской лаборатории)

*Дмитрий Станиславович Завадский* (младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории)

*Олег Алексеевич Волошин* (младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории)

*Сергей Йосипович Слободенюк* (научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории)

*Воинская часть А4566, Киев, Украина*

В статье предложен вариант решения научной задачи моделирования диаграммы направленности массовой радиолокационной станции метрового диапазона волн с использованием бета-версии специализированного программного продукта MMANA-GAL. Все предыдущие модернизации радиолокационной станции типа П-18 не были связаны с модернизацией одной из основных систем радиолокационной станции, ее антенной системы, которая осталась неизменной и у ее преемников, радиолокационной станции П-18МА, П-18МУ, П-18 “Малахит”. Для дальнейшей модернизации этой радиолокационной станции или создания новой радиолокационной станции метрового диапазона необходимо провести моделирование ее антенной системы, основным элементом которой является антенна типа “волновой канал”.

Для решения этой задачи антенная система радиолокационной станции представлена тремя разными моделями, которые учитывают особенности активного вибратора. В ходе исследования проведено сравнения предложенных моделей и оценено их адекватность результатам экспериментальных измерений. В результате получены характеристики антенной системы, которые могут быть использованы для дальнейшей модернизации радиолокационной станции П-18.

**Ключевые слова:** антенна, антенная система, моделирование антенной системы.

## PERFORMANCE SIMULATION OF A RADAR ANTENNA SYSTEM P-18

*Vadym P. Bunakov* (Chief of a Research Laboratory)

*Dmytro S. Zavadskyi* (Junior Research Fellow of a Research Laboratory)

*Oleg O. Voloshyn* (Junior Research Fellow of a Research Laboratory)

*Sergii Y. Slobodeniuk* (Research Fellow of a Research Laboratory)

*Military Unit A4566, Kyiv, Ukraine*

The article describes the alternate approach of scientific mission of directional diagram simulation of VHF band radar of P-18 type including beta software MMANA-GAL. All previous radar modernization type P-18 were not associated with the modernization of one of the main radar systems, its antenna system that has remained unchanged and its successors, of the P-18MA, P-18MU, P-18 “Malachite”. For further modernization of the radar or the creation of a new radar meter range it is necessary to simulate the antenna system, the main element of which is the type antenna “Yagi”.

To solve this problem antenna radar system consists of three different models that take into account features of the driven element. In a study conducted comparing the proposed models and the estimated value of their experimental measurements. The result obtained characteristics of the antenna system that can be used to further upgrade of the P-18.

**Keywords:** antenna, antenna system, antenna system simulation

### References

1. **Radar** signals analysis and processing using Matlab. Bassem R. Mahafza. CRC Press. New York. p. 479 2009. 2. **Radar** signals analysis and design using Matlab. Bassem R. Mahafza. CRC Press. New York. p. 532 2000. 3. **Instruction** Manual – J. Perkins Distribution, available at

www.jperkinsdistribution.co.uk/downloads/3353000a.pdf 4. **Frequency** radar P-18 (technical description, part 1), Jg. 1.231.001 (1974), [RLS P-18 (техническое описание, часть 1), Жг. 1.231.001], Gorkiy, 257 p. 5. **P-18** “Spoon Rest D” available at: <http://www.radartutorial.eu/19.kartei/karte909.en.html>

*V.P. Bunakov: vadim.bounakov@gmail.com D.S. Zavadskyi: ozoz84@mail.ru*

*O.O. Voloshyn: volo@gmail.com S.Y. Slobodeniuk: slobodsy@i.ua*

Отримано: 25.06.2014 р.