

УДК 621.396.96

Я.О. Белевщук, М.М. Бречка, В.О. Василюк, О.І. Сухаревський

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ОЦІНКИ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛІТНОЇ ТЕХНІКИ ПОВІТРЯНИХ СИЛ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Розроблена методика оцінки радіолокаційних характеристик (ефективної поверхні розсіяння, некогерентної ефективною поверхні розсіяння, середніх та медіанних значень ефективною поверхні розсіяння) вертолітної техніки. В якості модельного прикладу оцінено радіолокаційні характеристики головного гвинта вертольоту Мі-8МТ та оцінено, яким чином радіолокаційні характеристики гвинта, що швидко обертається, потрібно враховувати в радіолокаційних характеристиках вертолітної техніки.

**Ключові слова:** вертоліт, радіолокаційні характеристики, ефективна поверхня розсіяння.

### Вступ

**Постановка проблеми і аналіз літератури.** На основі запропонованого методу розрахунку радіолокаційних характеристик (РЛХ) розсіювання зразків авіаційної техніки [1] розроблена методика оцінки РЛХ вертолітної техніки.

Розрахунок РЛХ вертольоту в більшій частині співпадає з розрахунком РЛХ будь-якого радіолокаційного об'єкту у вільному просторі. Це стосується, насамперед, корпусу вертольоту. Але вертоліт має головний гвинт великого діаметру, який обертається з великою швидкістю відносно своєї вісі. Саме урахуванню вкладу гвинта, що обертається, присвячена методика оцінки вертолітної техніки.

**Мета роботи** – розробка методика оцінки радіолокаційних характеристик (ефективної поверхні розсіяння (ЕПР), некогерентної ЕПР (НЕПР), середніх та медіанних значень ЕПР) вертолітної техніки.

### Основний матеріал

В якості моделі розглянемо головний гвинт вертольоту Мі-8МТ. Діаметр головного гвинта – 21,30м, гвинт має 5 лопатей шириною 50см та товщиною 6см [2, 3]. Модель гвинта вертольоту представлена на рис. 1.

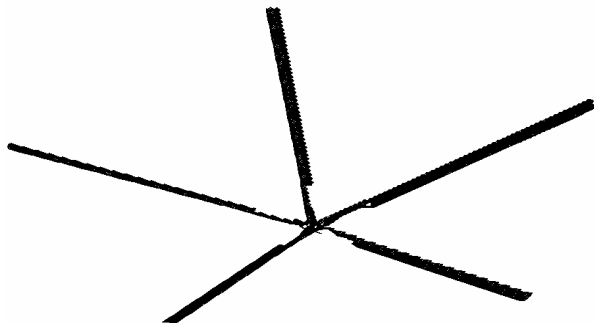


Рис. 1. Модель головного гвинта вертольоту Мі-8МТ

При моделюванні гладка частина поверхні гвинта була апроксимована за допомогою ділянок 35 трьохвісних еліпсоїдів. Зломи поверхні були промо-

дельовані за допомогою 5 прямих кромкових ділянок розсіяння. В моделі лопаті підняті вгору на 10 градусів відносно площини горизонту. Кут атаки лопатей 10 градусів. Були розглянуті РЛХ гвинту, що обертається, для наступних параметрів: кути місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери) та 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери), крок зміни повороту гвинта 0,02 градуса, діапазон зміни повороту гвинта 72 градуса (один період обороту, за який гвинт повторює свою конфігурацію), частоти опромінення: 10ГГц (довжина хвилі 3см), 5ГГц (довжина хвилі 6см), 3ГГц (довжина хвилі 10см), 1,3ГГц (довжина хвилі 23см), 1ГГц (довжина хвилі 30см), 166МГц (довжина хвилі 1,8м). Розглянуто РЛХ (а саме ЕПР, НЕПР, середні та медіанні значення ЕПР) та прийнято рішення про порядок урахування внеску головного гвинта, що обертається, до РЛХ вертольота.

**РЛХ моделі гвинта при частоті опромінення 10ГГц (довжина хвилі 3см).** На рис. 2 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає 0,53м<sup>2</sup>. Медіанна ЕПР (значення ЕПР, яке використовується при розрахунках дальності виявлення з ймовірністю 0,5) складає 0,035 м<sup>2</sup>.

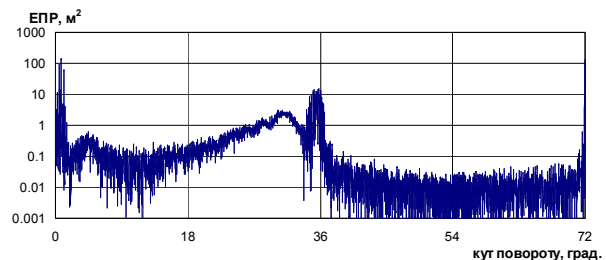


Рис. 2. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 3 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування

-3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,58\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,052\text{ м}^2$ .

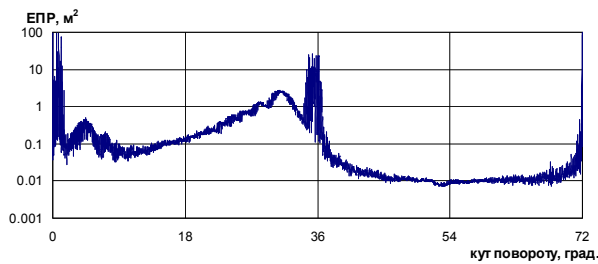


Рис. 3. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 4 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,38\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,04\text{ м}^2$ .

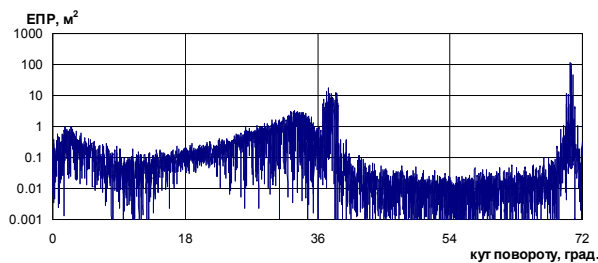


Рис. 4. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

На рис. 5 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,41\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,05\text{ м}^2$ .

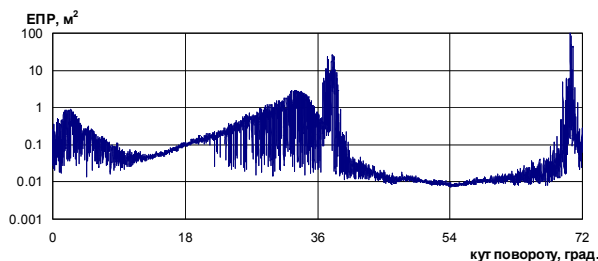


Рис. 5. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

**РЛХ моделі гвинта при частоті опромінення 5ГГц (довжина хвилі 6см).** На рис. 6 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,53\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,058\text{ м}^2$ .

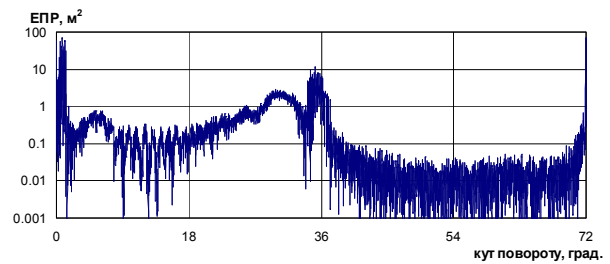


Рис. 6. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 7 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,89\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,084\text{ м}^2$ .

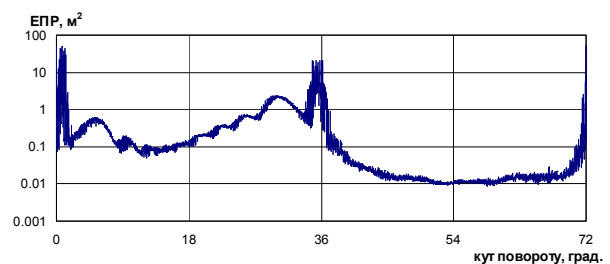


Рис. 7. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 8 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,36\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,05\text{ м}^2$ .

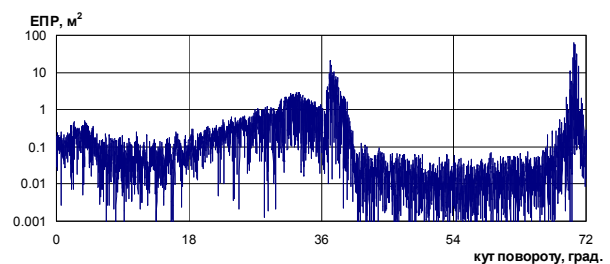


Рис. 8. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

На рис. 9 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,42\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,054\text{ м}^2$ .

**РЛХ моделі гвинта при частоті опромінення 3ГГц (довжина хвилі 10см).** На рис. 10 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,75\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,075\text{ м}^2$ .

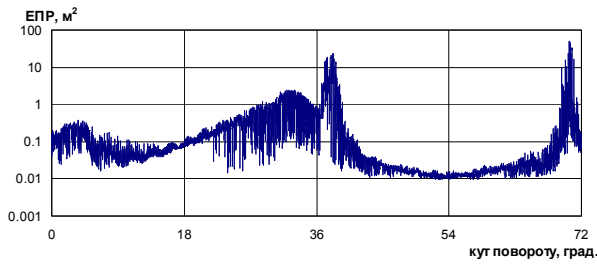


Рис. 9. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

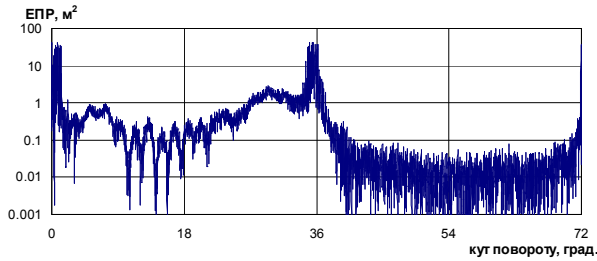


Рис. 10. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 11 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,65\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,10\text{ м}^2$ .

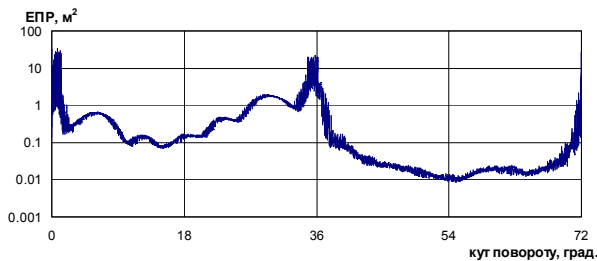


Рис. 11. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 12 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,55\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,07\text{ м}^2$ .

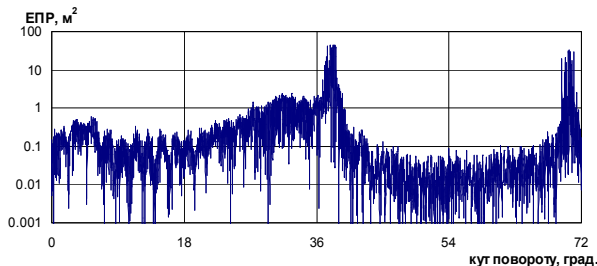


Рис. 12. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

На рис. 13 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,48\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,071\text{ м}^2$ .

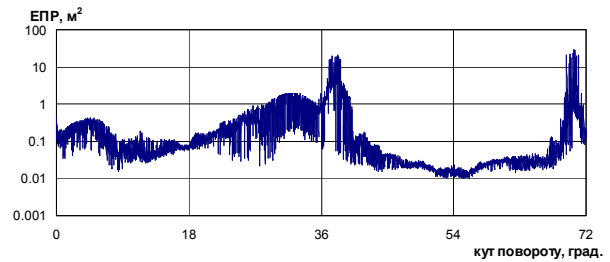


Рис. 13. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

**РЛХ моделі гвинта при частоті опромінення 1,3ГГц (довжина хвилі 23см).** На рис. 14 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,73\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,097\text{ м}^2$ .

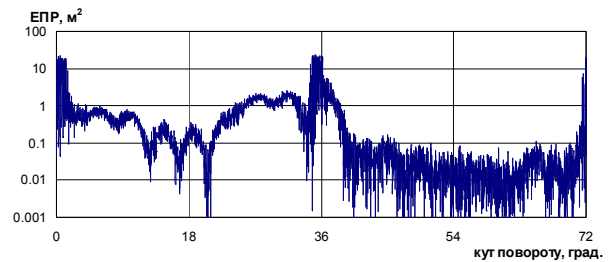


Рис. 14. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 15 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,71\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,14\text{ м}^2$ .

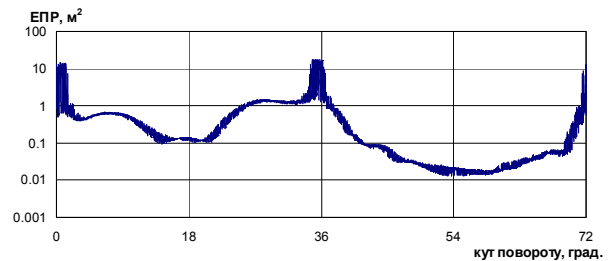


Рис. 15. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 16 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,59\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,1\text{ м}^2$ .

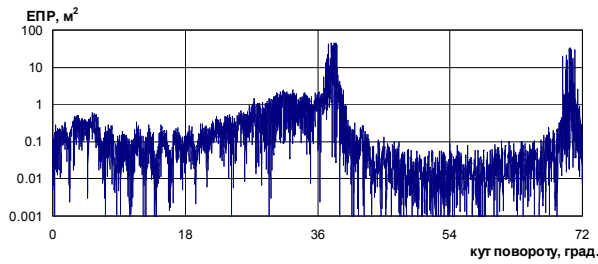


Рис. 16. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

На рис. 17 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,60\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,12\text{ м}^2$ .

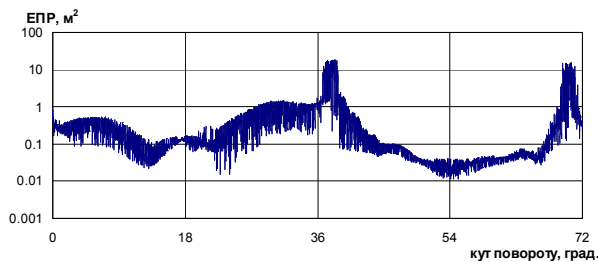


Рис. 17. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

**РЛХ моделі гвинта при частоті опромінення 1ГГц (довжина хвилі 30см).** На рисунку 18 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,73\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,14\text{ м}^2$ .

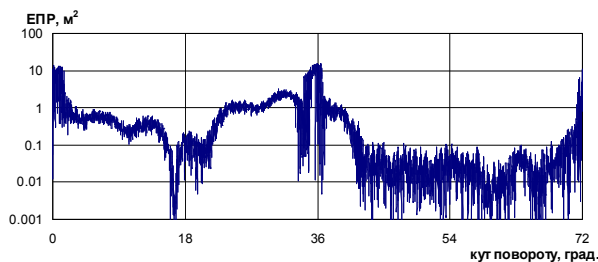


Рис. 18. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 19 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,78\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,22\text{ м}^2$ .

На рис. 20 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $0,62\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,118\text{ м}^2$ .

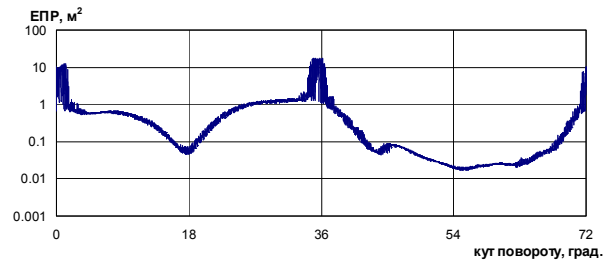


Рис. 19. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

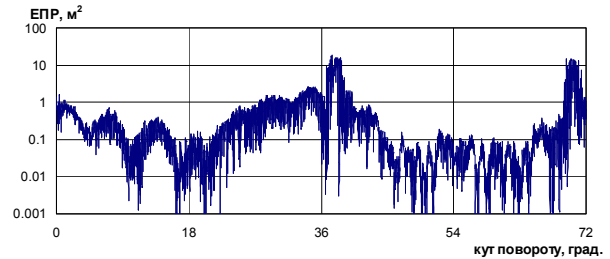


Рис. 20. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

На рис. 21 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $0,66\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,17\text{ м}^2$ .

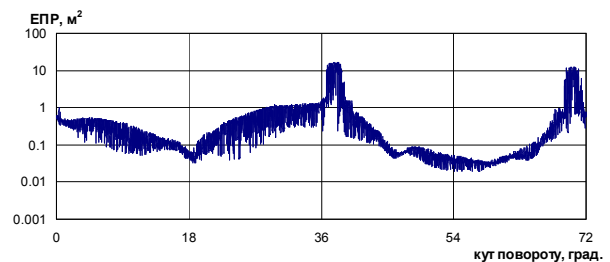


Рис. 21. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

**РЛХ моделі гвинта при частоті опромінення 166МГц (довжина хвилі 180см).** На рис. 22 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $1,15\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,24\text{ м}^2$ .

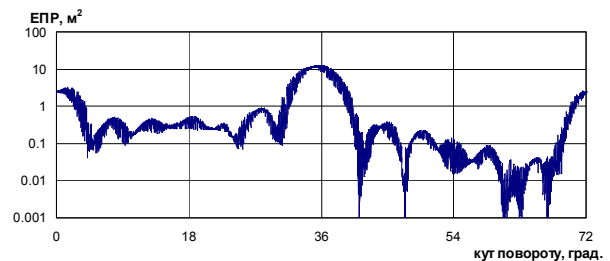


Рис. 22. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 23 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $1,17\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,19\text{ м}^2$ .

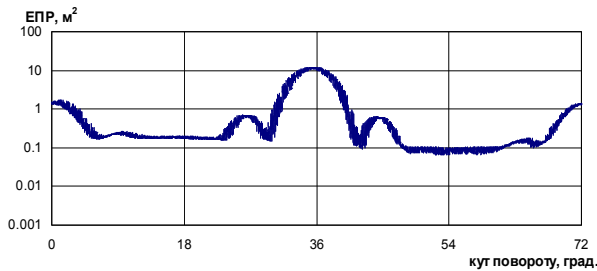


Рис. 23. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування -3 градуси)

На рис. 24 наведена залежність ЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня ЕПР гвинта складає  $1,21\text{ м}^2$ . Медіанна ЕПР складає  $0,15\text{ м}^2$ .

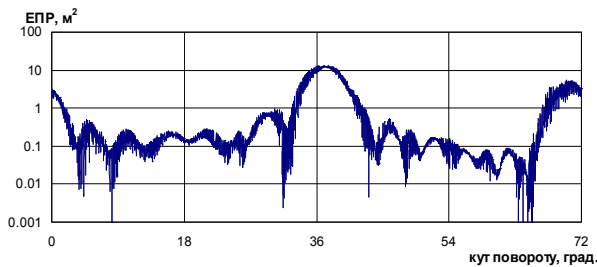


Рис. 24. ЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

На рис. 25 наведена залежність НЕПР моделі гвинта від кута повороту для кута місця зондування 10 градусів відносно площини горизонту (зондування з верхньої напівсфери). Середня НЕПР гвинта складає  $1,25\text{ м}^2$ . Медіанна НЕПР гвинта складає  $0,19\text{ м}^2$ .

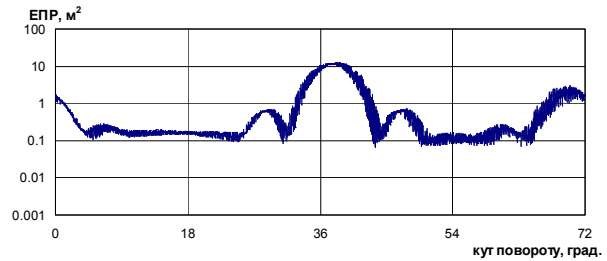


Рис. 25. НЕПР моделі гвинта (кут місця зондування 10 градусів)

## Висновки

Наведені данні показують, що середні ЕПР моделі гвинта знаходяться в діапазоні  $0,35 \dots 1,25\text{ м}^2$  в залежності від частоти зондуючого сигналу та угла місця опромінення. Максимальні значення ЕПР можуть сягати  $100\text{ м}^2$ . Залежність ЕПР від кута повороту гвинта дуже нерівномірна. Динамічний діапазон отриманих значень ЕПР перевищує 5 порядків. Таким чином можна констатувати, що ЕПР головного гвинта вертоліту змінюється в широкому діапазоні в залежності від кута повороту. Тому для урахування внеску головного гвинта до миттєвої ЕПР вертоліту гвинт буде зафіксовано гвинт в одному стані та проведено дослідження миттєвих та статистичних РЛХ вертоліту. Для урахування внеску головного гвинта до НЕПР вертоліту середня НЕПР гвинта буде додана до НЕПР корпусу об'єкту.

## Список літератури

1. Сухаревский О.И. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Кукобко и др. – Х.: ХУПС, 2009. – 468с.
2. Михеев В.Р. Ми-8. 40 лет: полет нормальный / В.Р. Михеев – М.: Полигон-пресс, 2001. – 48 с.
3. Мороз С. Многоцелевой вертолет Ми-8 / С. Мороз – М.: Экспресс, 2008. – 48 с.

Надійшла до редколегії 5.04.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Певцов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРТОЛЕТНОЙ ТЕХНИКИ ВОЗДУШНЫХ СИЛ ВООРУЖЕННЫХ СИЛ УКРАИНЫ

Я.А. Белевщук, М.М. Бречка, В.А. Василец, О.И. Сухаревский

Разработана методика оценки радиолокационных характеристик (эффективной поверхности рассеяния, некогерентной эффективной поверхности рассеяния, средних и медианных значений эффективной поверхности рассеяния) вертолетной техники. В качестве модельного примера оценены радиолокационные характеристики главного винта вертолета Ми-8МТ, а также оценено, каким образом радиолокационные характеристики быстро вращающегося винта необходимо учитывать в радиолокационных характеристиках вертолетной техники.

**Ключевые слова:** эффективная поверхность рассеяния, вертолет, радиолокационные характеристики.

## EVALUATION METHOD DEVELOPMENT FOR HELICOPTER RADAR CHARACTERISTICS OF THE AIR FORCE OF UKRAINIAN ARMED FORCES

Y.A. Belevshchuk, M.M. Brechka, V.A. Vasilets, O.I. Sukharevsky

A method for evaluation of helicopter radar characteristics (radar cross section, incoherent radar cross section, mean and median values of the radar cross section) has been developed. The main rotor helicopter Mi-8MT is used as a model example of estimated radar characteristics. Also it is evaluated how the radar characteristics of rapidly rotating propeller should be considered in the radar characteristics of helicopters.

**Keywords:** radar cross section, helicopter, radar characteristics.