

УДК 621.396.96

Д.В. Молчанов, В.О. Василець, О.І. Сухаревський

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## МОДЕЛЮВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗСІЯННЯ ВЕЛИКОГО ДЕСАНТНОГО КОРАБЛЯ

У статті наведено результати моделювання процесу розсіяння при опроміненні великого десантного корабля. В ході моделювання враховувалася складна форма об'єкта, стан морської поверхні, частота і поляризація опромінення. Характеристики визначені для різних кутів опромінення і представлені у вигляді діаграм ефективної поверхні розсіяння.

**Ключові слова:** великий десантний корабель, характеристики розсіяння, ефективна поверхня розсіяння.

### Вступ

#### Постановка проблеми і аналіз літератури.

Великі десантні кораблі проекту 775 (з кодифікації НАТО – Ropucha) – серія великих десантних кораблів, побудованих в Гданську (Польща) для ВМФ СРСР. Кораблі призначені для висадки морського десанту на необладане узбережжя та перекидання морем військ і вантажів. Кораблі мають носові і кормові ворота для завантаження і вивантаження техніки і 630 м<sup>2</sup> палуби для техніки, яка простягається на всю довжину корпусу. На корабель можна завантажити більше 25 бронетранспортерів [1]. З 1974 по 1991 рік побудовано 28 кораблів. На даний момент в строю знаходяться 16 одиниць.

Отримання радіолокаційної інформації про такі об'єкти, зокрема, про ефективну поверхню розсіяння (ЕПР), за допомогою проведення натурних і фізичних експериментів пов'язано зі значними матеріальними, організаційними і часовими витратами, а також не завжди можливо з різних причин. У зв'язку з цим становлять значний інтерес альтернативні підходи, в основі яких лежить математичне моделювання. Основною проблемою при цьому є врахування складної форми об'єкта, зламів його поверхні, а також впливу підстилаючої поверхні. В даний час існує декілька підходів до опису геометрії об'єктів, які опромінюються електромагнітними хвилями [2 – 5]. Найбільшого поширення набув метод, заснований на апроксимації поверхні об'єкта елементарними ділянками (наприклад, трикутними або квадратними пластинами), так звана фацетна модель. Перевагою методу є відсутність обмежень на геометрію об'єкта і можливість детального обліку фазових співвідношень при розрахунку радіолокаційних характеристик. Недоліком методу є велика кількість окремих елементарних ділянок. Нижче використано метод, який наведено в [2]. При цьому пропонується поверхню об'єкта, що моделюється, розділити на дві групи: гладка частина поверхні і кромкові локальні ділянки розсіяння. Процес розсіяння, відповідно,

потрібно моделювати окремо для кожної групи згідно методу, що запропоновано у [6]. Результатам моделювання, що реалізує запропонований підхід, й присвячена ця стаття.

**Мета роботи** – отримання ЕПР великого десантного корабля, середніх і медіанних значень ЕПР при різних поляризаціях опромінення та станах поверхні моря.

### Основний матеріал

Поверхня об'єкта для моделювання процесу розсіяння розглядається як поєднання гладких ділянок і кромок. Гладку частину поверхні пропонується апроксимувати ділянками тривісних еліпсоїдів. Кількість еліпсоїдів вибирається залежно від складності поверхні і необхідного ступеня деталізації, яка визначається довжиною хвилі зондуючого сигналу при математичному моделюванні характеристик вторинного випромінювання об'єкта.

Вплив можливого радіопоглинаючого або композитного покриття враховується за допомогою параметрів: товщина покриття  $\delta$ , відносні діелектрична і магнітна проникності покриття  $\epsilon'$ ,  $\mu'$ . При цьому, якщо ділянка поверхні об'єкта є ідеальним провідником струму, то товщина покриття приймається рівною нулю, а якщо елемент об'єкта повністю виконаний з композитного матеріалу, використовується негативне значення  $\delta$ .

Кромочні локальні ділянки (злами) розсіяння моделюються шляхом опису лінії зламу поверхні. Передбачається, що лінія зламу поверхні – ділянка плоскої кривої. При цьому ребро криволінійного зламу апроксимується ділянкою еліпса, а ребро прямолінійного зламу – відрізком прямої. Параметри покриття ребра зламу враховуються за допомогою параметрів: радіус тороїдального покриття  $r$ , відносні діелектрична і магнітна проникності матеріалу радіопоглинаючого покриття  $\epsilon'$ ,  $\mu'$ .

Необхідно відзначити, що найбільш важливими параметрами ділянок на кромках є їх кутові параметри і вектор орієнтації кромки по відношенню до

напрямку приходу падаючої хвилі, відповідні розрахункові співвідношення наведені в [6].

Запропонований підхід до моделювання поверхні об'єкту дозволяє отримувати його характеристики розсіяння з урахуванням затінення фрагментів один одним. Для цього аналізується стан фацетів гладкої частини об'єкта і кромки злам по відношенню до напрямку падіння електромагнітної хвилі, і визначаються "освітлені" і "затінені" фацети (в основу підходу було покладено метод трасування променів [7]).

**Моделювання поверхні великого десантного корабля проекту 775.** Великий десантний корабель проекту 775 (рис. 1) має стандартну водотоннажність 2200 тон і 4080 тон при повному завантаженні, довжину 112,5 м, ширину 15 м, осідання 3,7 м, швидкість 18 вузлів (33 км / год), дальність плавання 6100 км при 15 вузлах (28 км / год) [1].



Рис. 1. Великий десантний корабель проекту 775

Модель поверхні корабля відповідно до описаного підходу складається з 160 частин тривісних еліпсоїдів і 140 прямих кромки (рис. 2).

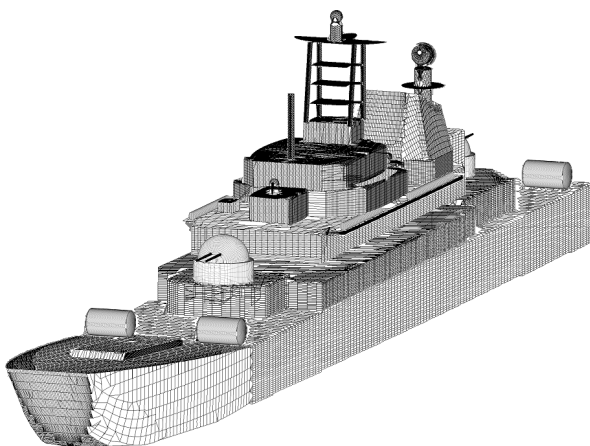


Рис. 2. Модель поверхні корабля

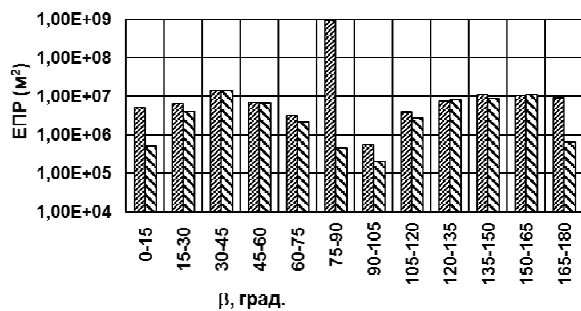
При розрахунках враховуються перевідбиття між гладкими частинами об'єкта. Компоненти поля, розсіяні гладкими і кромковими локальними ділянками розсіяння, підсумовуються для отримання оці-

нок поля, розсіяного кораблем, розташованим на морській поверхні [1].

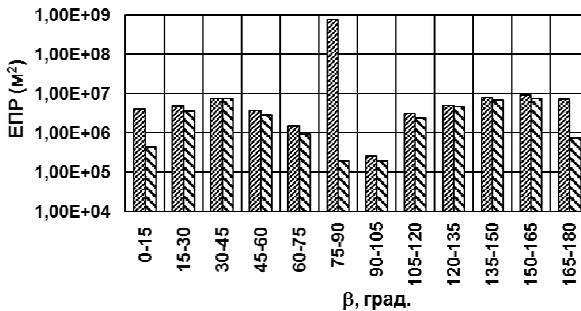
**Характеристики розсіяння корабля з урахуванням морської поверхні.** Для розрахунку характеристик вторинного випромінювання корабля застосовано метод, запропонований в [6]. Метод дозволяє розраховувати ЕПР об'єкту, як ідеально провідного, так і повністю або частково виконаного з діелектричних або композитних матеріалів і врахувати наявність підстилаючої поверхні із заданими електромагнітними характеристиками.

Були отримані дані по середнім і медіанним значенням ЕПР моделі великого десантного корабля проекту 775. Значення ЕПР обчислювалися при наступних припущеннях. Проводиться суміщений прийом для двох поляризацій зондуючого сигналу (горизонтальної та вертикальної). При горизонтальній – вектор напруженості електричного поля падаючої хвилі паралельний підстилаючій поверхні; при вертикальній – ортогональний і лежить в площині, перпендикулярній підстилаючій поверхні. Враховувалися два стани морської поверхні: гладка морська поверхня і бурхливе море з тими ж електродинамічними параметрами. Бурхливе має такі неоднорідності поверхні, що коефіцієнт відбиття від морської поверхні прямує до нуля. Відносна діелектрична проникність обох типів морської поверхні  $\epsilon' = 80 + j3.4$ . Відносна магнітна проникність морської поверхні дорівнює одиниці. Частота опромінення прийнята рівною 12,6 ГГц (2,38 см). Кут місця опромінення обраний рівним 0,34 градуса.

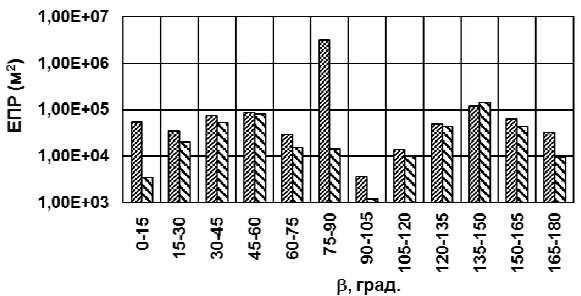
Для кожної комбінації чинників, що враховуються були побудовані діаграми залежності ЕПР від азимута опромінення. Крок зміни азимута 15 град, азимут відраховується проти годинникової стрілки від носового напрямку (0 відповідає опроміненню в ніс, 180 відповідає опроміненню з корми). Їх аналіз показав, що найбільший вплив на величину ЕПР надає стан моря. На рис. 3, а, б наведено розподіл миттєвої ЕПР по 15-градусним азимутним секторам при спокійному морі для двох видів поляризації, а на рис. 3, в, г – при бурхливому морі. А тип поляризації зондуючого сигналу незначно впливає на значення ЕПР і її розподіл по азимутним секторам. На діаграмах ЕПР вимірюється в м<sup>2</sup>, лівий стовпчик відповідає середньому значенню ЕПР, правий – медіанному значенню ЕПР, що використовується для розрахунку дальності виявлення об'єкта з ймовірністю 0,5. Графіки містять дані по середнім і медіанним значенням ЕПР миттєвої (звичайної) ЕПР, отримані для моделі великого десантного корабля проекту 775. Аналіз отриманих даних показує, що ЕПР корабля при спокійному морі на два порядки вище, ніж при бурхливому. Ці значення можна використовувати в якості граничних при оцінці реальних показників розсіяння.



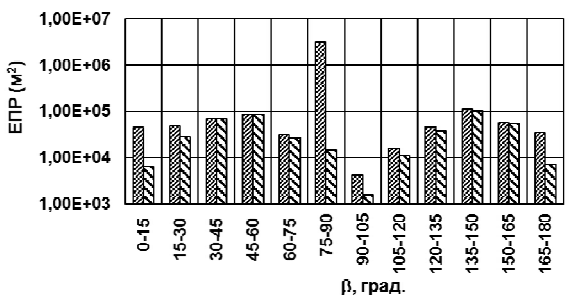
а – спокійне море та горизонтальна поляризація



б – спокійне море та вертикальна поляризація



в – бурхливе море та горизонтальна поляризація



г – бурхливе море та вертикальна поляризація

Рис. 3. Діаграми середньої та медіанної ЕПР

## Висновки

Отримано оцінки характеристик розсіяння моделі Великого десантного корабля проекту 775 для різних умов опромінення. Результати показують, що для гладкої морської поверхні середня ЕПР перевищує  $300000 \text{ m}^2$ , а медіанна ЕПР перевищує  $200000 \text{ m}^2$  для будь-якого азимутального сектора. Для бурхливого моря середня ЕПР перевищує  $3000 \text{ m}^2$ , а медіанна ЕПР перевищує  $1000 \text{ m}^2$  для будь-якого азимутального сектора. Таким чином, величина ЕПР корабля у реальному морі повинна знаходитися між ЕПР для гладкої морської поверхні і ЕПР для бурхливого моря. Оскільки стан моря значно впливає на кінцеву ЕПР корабля, у подальшому необхідно провести додаткові дослідження впливу нерегулярностей морської поверхні на характеристики розсіяння надводних об'єктів.

## Список літератури

1. Большие десантные корабли проекта 775 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до матеріалу: [https://en.wikipedia.org/wiki/Ropucha-class\\_landing\\_ship](https://en.wikipedia.org/wiki/Ropucha-class_landing_ship).
2. Electromagnetic Wave Scattering by Aerial and Ground Radar Objects / O. I. Sukharevsky (ed.). – CRC Press, 2014.
3. Климов В.Е. Аксиоматизация задачи синтеза геометрии трехмерных объектов / В.Е. Климов, В.В. Клишин // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. – 1983. – № 4. – С. 57–62.
4. Mitra, R. (1973). Computer techniques for electromagnetics. Vol. 7. Pergamon.
5. Youssef N.N. Radar cross section of complex targets / N.N. Youssef // Proceedings of the IEEE. – 1989. – Vol. 77, No. 5. – P. 722-734.
6. Молчанов Д.В. Метод розрахунку характеристик розсіяння надводних радіолокаційних об'єктів / Д.В. Молчанов, В.О. Василець, О.І. Сухаревський // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2016. – № 1 (22). – С. 72–75.
7. David F. Rogers. Mathematical Elements for Computer Graphics (2nd Edition) / David F. Rogers, J. Alan Adams. – McGraw-Hill Science/Engineering/Math, 1989.

Надійшла до редколегії 25.02.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. С.П. Лещенко, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК РАССЕЯНИЯ БОЛЬШОГО ДЕСАНТНОГО КОРАБЛЯ

Д.В. Молчанов, В.А. Василец, О.И. Сухаревский

В статье приведены результаты моделирования процесса рассеяния при облучении большого десантного корабля. В ходе моделирования учитывалась сложная форма объекта, состояние морской поверхности, частота и поляризация облучения. Характеристики определены для разных углов облучения и представлены в виде диаграмм эффективной поверхности рассеяния.

**Ключевые слова:** большой десантный корабль, характеристики рассеяния, эффективная поверхность рассеяния.

## MODELING SCATTERING CHARACTERISTICS OF THE LARGE LANDING SHIP

D.V. Molchanov, V.A. Vasilets, O.I. Sukharevsky

The scattering characteristics results for Ropucha-class landing ship are provided. The object complex shape, sea surface influence are taken into account in scattering characteristics simulation for two polarizations of sounding signal in UHF range. The results are obtained for different aspect angles and are represented as circle diagrams of radar cross-section.

**Keywords:** large landing ship, scattering characteristics, the effective scattering surface.