

УДК 621.396.96

В.О. Василець, О.І. Сухаревський, К.І. Ткачук

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## МЕТОДИКА ПІДВИЩЕННЯ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ ПОМІТНОСТІ ПОВІТРЯНОЇ МІШЕНІ БПЛА ТУ-143

*Запропонований метод підвищення радіолокаційної помітності повітряної мішені БПЛА Ту-143 тактичного комплексу розвідки "Рейс". Розроблена математична модель поверхні літака і проведений математичний експеримент щодо моделювання зворотнього вторинного випромінювання для сантиметрового діапазону. Отримані числові характеристики радіолокаційної помітності БПЛА Ту-143.*

**Ключові слова:** радіолокаційні характеристики, ефективна поверхня розсіювання, аеродинамічна ціль, повітряна мішень.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Повітряні мішені імітують основні характеристики типових пілотованих і безпілотних повітряних цілей при учбовій і бойовій підготовці розрахунків зенітно-ракетних комплексів (ЗРК), екіпажів винищувальної авіації, перевірки боєздатності підрозділів і в цілому системи ППО, а також при випробуванні нових або модернізованих радіолокаційних станцій (РЛС), ЗРК. Висока стрімкість сучасного протиповітряного бою і, відповідно, гостре обмеження часу для прийняття рішення, потребує доведених до автоматизму дії обслуг ЗР комплексів і пілотів винищувальної авіації, що досягається лише шляхом тренувань і проведенням учбово-бойових стрільб по повітряним мішеням в умовах максимально наближеним до бойових.

У Повітряних Силах ЗС України у якості повітряної мішені використовують БПЛА Ту-143, який входить до складу комплексу тактичної розвідки "Рейс". Комплекс тактичної розвідки "Рейс" у складі БПЛА Ту-143 був прийнятий на озброєння колишнього СРСР у 1976 році. Виробництво БПЛА розвідки було припинено у 1989 році, усього було виготовлено 950 одиниць, значна кількість яких залишилась в Україні під час отримання незалежності. Безумовно перевагою комплексу "Рейс" є тривалий період часу, на протязі якого комплекс використовувався у стройових частинах ЗС колишнього СРСР і Чехословаччини, а також Румунії і Сирії. За час використання комплекс "Рейс" отримав високу оцінку, як надійний, високоефективний засіб тактичної розвідки.

Виходячи з основного призначення літака, з метою забезпечення скритності та живучості під час розробки особлива увага приділялась низькому рівню радіолокаційної помітності. Малі габаритні розміри, форма і матеріали конструкції, розміщення повітрозбірника зверху фюзеляжу забезпечує низький рівень зворотнього вторинного випромінювання літака у широкому діапазоні ракурсів зондування. Так, для атакуючих ракурсів ЕПР БПЛА "Рейс" не

перевищує значень  $0,2 \text{ м}^2$ . При цьому усереднені значення ЕПР в діапазоні ракурсів зондування по азимуту  $\pm 5^\circ$  (лобове зондування) і куту місця  $0^\circ$ - $5^\circ$  (зондування з нижньої півсфери) дорівнюють  $0,1 \text{ м}^2$ . Саме тому БПЛА "Рейс" відноситься до складних радіолокаційних цілей, що дозволяє використовувати літак для імітації крилатих ракет і літаків, які виготовлені з використанням технологій "Стелс". У той же час відсутність конструктивної можливості підвищення радіолокаційної помітності не дозволяє використовувати літак для імітації широкого класу повітряних цілей. Наприклад, літаків тактичної авіації, ЕПР яких для лобових ракурсів зондування досягає одиниць квадратних метрів. Враховуючи вищезазначене, розробка методів підвищення радіолокаційної помітності повітряної мішені на базі БПЛА "Рейс" – є актуальною. Підвищення радіолокаційної помітності БПЛА Ту-143 дозволить підвищити його універсальність щодо імітації широкого кола повітряних цілей, а також забезпечить безпеку навчально-бойових стрільб.

**Мета роботи.** Аналіз радіолокаційних характеристик повітряної мішені БПЛА Ту-143 тактичного комплексу розвідки "Рейс" і розробка методу підвищення радіолокаційної помітності літака.

### Основний розділ

До основних методів підвищення радіолокаційної помітності повітряних цілей відносяться кутові відбивачі, лінзи Люнеберга, пасивні антенні решітки, які активно використовуються для повітряних мішеней [1]. У той же час, використання цих методів для зразків озброєння (зенітних ракет, БПЛА розвідки) з метою їх модернізації з наступним використанням у якості повітряних мішеней пов'язано с рядом практичних труднощів. В першу чергу, встановлення кутових відбивачів чи лінзи Люнеберга передбачає радіопрозорість матеріалів корпусу літального апарата в місцях встановлення. У випадку Ту-143, корпус всього літака є струмопровідний, при цьому корисне навантаження може бути встановлено лише в головній частині БПЛА.

На рис. 1 наведена компонувальна схема Ту-143. Носовий обтічник – це оболонка оживальної форми трьохшарової конструкції, яка виклеєна зі склотканини марки ТС 8/3-250 на смолі ЭДГ10-П з металізованих склосотопанелей.

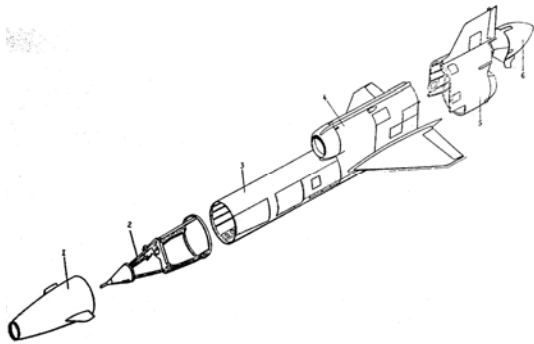


Рис. 1. Компонувальна схема БПЛА Ту-143:  
1 – носовий обтічник; 2 – рама; 3 – передня частина Ф2; 4 – середня частина Ф3; 5 – хвостова частина Ф4; 6 – задній кожух

Враховуючи наявність великої металевої рами (2 на рис.1) всередині обтічника та відсутність радіопрозорості обтічника, розміщення в середині додаткового розсіювача для забезпечення потрібних значень ЕПР літака є вкрай складною задачею. При забезпеченні часткової радіопрозорості обтічника за рахунок прорізання його поверхні можуть виникати численні перевідбиття від обтічника, елементів конструкції рами та додаткового внутрішнього відбивача. Крім того, частково прозорий обтікач у цьому випадку буде знаходитися у ближньої зоні додаткового внутрішнього відбивача, що може привести до значного послаблення ЕПР в деяких напрямках зондування. Фактично використання кутових відбивачів або лінзи Люнеберга пов'язано з суттєвою зміною конструкції головної частини літака, що, у свою чергу, пов'язано з значними фінансовими витратами і необхідністю погодження нової конструкції з КБ Туполева.

Пасивні антенні решітки мають ряд переваг у порівнянні з іншими методами підвищення ЕПР об'єктів, одним з яких є більш широка діаграма спрямованості зворотнього вторинного випромінювання. Робочий діапазон частот також може бути розширений шляхом підбору геометричних розмірів елементів антен і відстаней між ними, наприклад, антени логоперіодичного типу. Крім того, орієнтація діаграми спрямованості також може підбиратися шляхом вибору орієнтації елементів пасивної антенної решітки [1].

У статті пропонується в якості способу підвищення ЕПР БПЛА Ту-143 створення пасивної антенної решітки за рахунок часткової металізації (наприклад, вакуумне напилення алюмінію установками вакуумної металізації УВМ-15 або більш прочне дугове напилення, можливе також покриття добровідбиваючою срібляною фарбою) зовнішньої поверхні обтічника.

### Моделювання поверхні БПЛА Ту-143

БПЛА Ту-143 спроектований за схемою “безхвістка” і представляє собою суцільнометалевий моноплан з низько розміщеним трикутним крилом малого подовження. Трикутне крило має стрілоподібність  $58^\circ$  по передній кромці і невелику зворотню стрілоподібність по задній кромці. Вертикальне оперення має стрілоподібність  $40^\circ$  по передній кромці. Габаритні розміри БПЛА: довжина – 8,06 м, розмах крил – 2,24 м. Зовнішній вигляд БПЛА Ту-143 представлений на рис. 2.

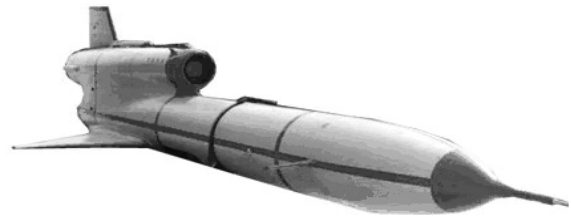


Рис. 2. Зовнішній вигляд БПЛА Ту-143 комплексу тактичної розвідки “Рейс”

З метою проведення математичного моделювання зворотнього вторинного випромінювання Ту-143 і отримання чисельних показників радіолокаційної помітності літака була побудована математична модель поверхні Ту-143 (рис. 3). При моделюванні “гладка” поверхня літака була апроксимована ділянками трьохвісних еліпсоїдів. Усього використано 18 ділянок еліпсоїдів. Злами поверхні літака моделювались відповідними кромковими ділянками розсіювання – усього 15 кромок.

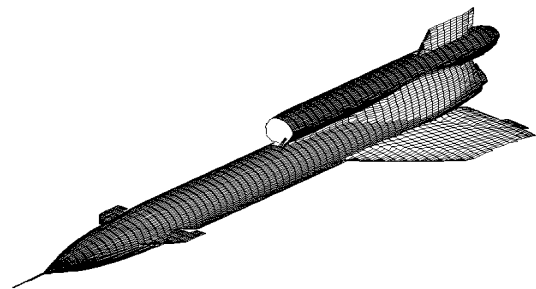


Рис. 3. Модель поверхні БПЛА Ту-143

Для підвищення ЕПР Ту-143 пропонується створити на поверхні носової частини літака пасивну антенну решітку за рахунок покриття обтічника провідними смугами шириною в чверть довжини хвилі зонduючого сигналу. На рис. 4 наведена носова частина Ту-143. Перша частина обтічника (рис. 4, частина I) є металічним круговим конусом, а друга частина є тришаровий обтічник оживальної форми (рис. 4, частина II). Проміжки між смугами (теж в чверть довжини хвилі зонduючого сигналу) необхідно вирізати до найнижчого краю сот, тобто видалити електропровідний екрануючий шар і заповнити прогалини непровідним матеріалом (наприклад, епоксидною смолою).

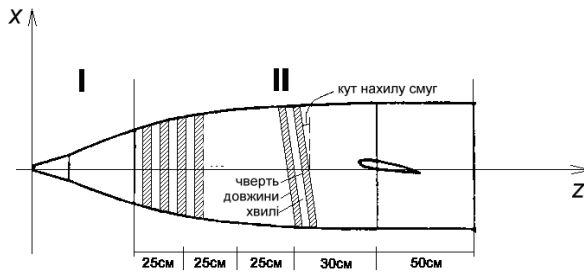


Рис. 4. Носова частина Ту-143 при нанесенні струмопровідних смуг

З метою розширення спектра (діапазону) частот, для яких заходи підвищення радіолокаційної помітності будуть ефективні, можливе розділення частини частина II обтічника (рис. 4) на декілька додаткових частин. В цьому випадку ширина струмопровідних кілець і відстаней між ними (в межах кожної додаткової частини обтічника) слід підбирати для різних частот з необхідного діапазону.

Важливо зазначити, що існує можливість корегування орієнтації діаграми зворотного вторинного випромінювання пасивної антенної решітки, а отже існує можливість корегування рівня радіолокаційної помітності літака у цілому в залежності від ракурсів зондування.

**Особливості методики розрахунку ЕПР БПЛА Ту-143**

Добре відомо [2], що обчислення значень тангенціальних складових повного поля на любий замкнутій поверхні, що охоплює розсіювач, дозволить за допомогою квадратур отримати значення розсіяного поля в будь-якій точці поза поверхнею, що охоплює розсіювач.

Метод розрахунку характеристик розсіювання об'єктів зі зламами поверхні базується на попередньому розбитті поверхні об'єкта на "гладку" частину і локальні ділянки поверхні, що складають околиці зламів (поперечні розміри яких знаходяться у резонансній області). Для розрахунку розсіяного поля використовуються інтегральні вирази типу Кірхгофа. Поверхня інтегрування, що охоплює розсіювач, вибирається таким чином, щоб вона співпадала з поверхнею об'єкта, за виключенням лише обраних локальних ділянок поверхні, що складають околиці зламів.

Поверхня інтегрування поблизу зламів представляє собою тор, який "натягнутий" на злам поверхні. У [3] розроблена асимптотична методика, яка дозволяє оцінювати вплив кромкових локальних ділянок розсіювання, у тому числі з радіопоглинаючим покриттям. Методика базується на рішенні модельної задачі про похиле падіння плоскої електромагнітної хвилі на ідеально провідний клин з радіопоглинаючим циліндром на ребрі.

Врахування вкладу повітрязбірника моделі БПЛА "Рейс" у сумарне розсіяне поле було проведено за допомогою використання методу еквівалентних

розсіювачів у вигляді ділянок поверхні другого порядку, які мають таку ж ЕПР у широкому діапазоні ракурсів зондування моделі БПЛА "Рейс". При цьому в якості оцінки ЕПР повітрязбірника були використані результати розрахунків, які отримані у [5].

Зупинимося детальніше на розрахунку вторинного випромінювання носової частини БПЛА "Рейс", на поверхню якої нанесені металізовані кілецьця (рис. 4).

Для ідеально провідних, "гладких" ділянок  $S_1$  поверхні БПЛА у наближенні фізичної оптики розсіяне поле буде мати наступний вираз:

$$\vec{p} \cdot \vec{E}_{S_1} = -jk_0 \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \times \int_{S_{1осв}} (\vec{H}_\perp \cdot \vec{p}) \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \exp(-jk_0(\vec{r}^0 \cdot \vec{x})) ds_x, \quad (1)$$

де  $S_{1осв}$  – "освітлена" частина поверхні  $S_1$ ;  $r$  – відстань від об'єкту до точки спостереження;

$$\vec{H}_\perp = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} [-\rho_\perp \cdot p_\perp^0 (\vec{R}^1 \cdot \vec{n}) \vec{e}_\perp - \rho_\parallel p_\parallel^0 (\vec{n} \times \vec{e}_\perp)];$$

$$\cdot \exp(-jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})); \vec{p}^0 = p_\perp^0 \vec{e}_\perp + p_\parallel^0 \vec{e}_\parallel - \text{орт поляризації зондувальної хвилі};$$

$$\vec{p}_\perp^0 = (\vec{p} \cdot \vec{e}_\perp); \vec{p}_\parallel^0 = (\vec{p} \cdot \vec{e}_\parallel);$$

$$\vec{e}_\perp = \frac{(\vec{R}^0 \times \vec{n})}{(|\vec{R}^0 \times \vec{n}|)}; \vec{e}_\parallel = (\vec{R}^0 \times \vec{e}_\perp); \vec{R}^0 - \text{орт напрямку}$$

розповсюдження зондувальної хвилі;  $\vec{n}$  – орт нормалі у відповідній точці поверхні  $S_{1осв}$ ;  $\vec{r}^0$  – орт напрямлення на точку спостереження;  $\rho_\perp = -1$ ;  $\rho_\parallel = 1$  – коефіцієнти відбиття від ідеально провідної поверхні, відповідно на перпендикулярній і паралельній поляризації;  $\epsilon_0, \mu_0$  – діелектрична і магнітна проникність вільного простору.

З урахуванням наведених співвідношень, вираз (1) прийме вид:

$$\vec{p} \cdot \vec{E}_{S_1} = jk_0 \frac{\exp(jkr)}{4\pi r} \int_{S_{1осв}} [p_\perp p_\perp^0 + p_\parallel p_\parallel^0] (\vec{R}^0 \cdot \vec{n}) \exp(jk_0((\vec{R}^0 - \vec{r}^0) \cdot \vec{x})) ds. \quad (2)$$

Величини  $\vec{p}, p_\perp, p_\parallel$  мають такий же зміст, що і  $\vec{p}^0, p_\perp^0, p_\parallel^0$ , але для приймальної антени.

Розраховане за допомогою (2) розсіяне поле спроекуємо на напрям  $\vec{p}$  і оцінимо ЕПР об'єкта за допомогою наступної формули:

$$\sigma = 4\pi r^2 \frac{|\vec{p} \cdot \vec{E}_{S_1}|^2}{|\vec{p}^0 \cdot \vec{E}^0|^2}.$$

У якості зондувальної хвилі вибирається плоска хвиля:

$$\vec{E}^0 = \vec{p}^0 \exp(jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x}));$$

$$\vec{H}^0 = \sqrt{\frac{\epsilon_0}{\mu_0}} (\vec{R}^0 \times \vec{p}^0) \exp(jk_0(\vec{R}^0 \cdot \vec{x})).$$

Носова частина БПЛА уявляє собою конус (оживал), який має струмопровідну основу у вигляді металізованої сітки, яка вкрита діелектриком. З метою підвищення ЕПР носової ділянки (відповідно і об'єкту у цілому) пропонується нанести на поверхню носової частини ортогонально до вісі об'єкту струмопровідні кільця (наприклад, за допомогою напилення алюмінію) з шириною  $\approx \lambda/4$  і такими же відстанями між кільцями ( $\lambda$  – довжина зондувальної хвилі).

У першу чергу, необхідно знайти “освітлену” частину поверхні (для спрощення, обмежимося випадком конічної поверхні). Схематично зондування кінцевого конусу показано на рис. 5.

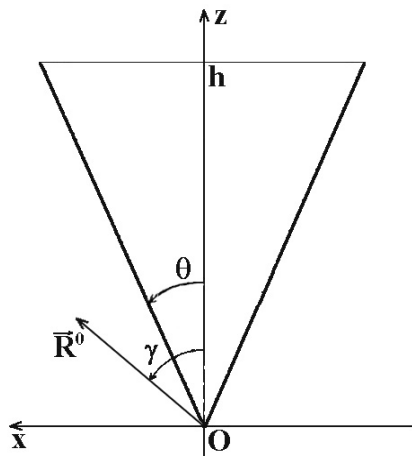


Рис. 5. Схема зондування кінцевого конусу  
Параметричне рівняння конуса наступне:

$$\begin{cases} x = z \operatorname{tg} \theta \cos \psi, \\ y = z \operatorname{tg} \theta \sin \psi, \end{cases} \quad (0 \leq z \leq h).$$

У випадку, коли  $\theta < \gamma < \pi/2$ , “освітлена” поверхня конуса обумовлюється нерівністю

$$-\operatorname{arccctg} \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \leq \psi \leq 2\pi - \operatorname{arccctg} \frac{x}{\sqrt{1-x^2}}.$$

У випадку, коли  $\gamma < \theta$  освітлена вся поверхня і  $0 \leq \psi \leq 2\pi$ . Неважко отримати елемент площі поверхні конуса:

$$ds = z \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} d\psi dz.$$

Схематично розтин конусної носової частини наведений на рис. 6.

Ділянки, які мають проекції на вісь  $z: z_{2i} \leq z \leq z_{2i+1}$ , ( $i=1, \dots, m$ ), вкриті відбиваючим покриттям. Штриховка показує діелектричний шар, який вкриває сітку.

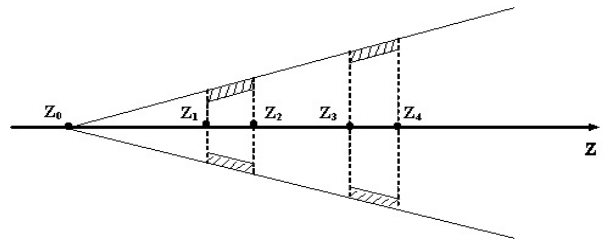


Рис. 6 Схематичний розтин конусної носової частини БПЛА Ту-143

Враховуючи, що зондувоча хвиля розповсюджується близько к осьовому напрямку у першому наближенні можна вважати, що розсіювання виникає, як на системі металевих кілець.

У такому випадку формула (2) приймає наступний вид:

$$\vec{p} \cdot \vec{E}_{S_1} = -jk_0 \frac{\exp(jk_0 r)}{4\pi r} \sum_{i=1}^m \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} \times$$

$$\times \int_{z_{2i}}^{z_{2i+1}} dz \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} \exp(j2k_0 z \varphi(\psi)) F(\psi) d\psi,$$

де  $F(\psi) = -[p_{\perp} p_{\perp}^0 + p_{\parallel} p_{\parallel}^0](\vec{R}^0 \cdot \vec{n}(\psi))$ ;

$\varphi(\psi) = \operatorname{tg} \theta (R_1^0 \cos \psi + R_2^0 \sin \psi) + R_3^0$ ;  $\alpha_0, \alpha_1$  – границі “освітленої” області;

$\vec{n}(\psi) = \frac{(\operatorname{tg} \theta \cos \psi, \operatorname{tg} \theta \sin \psi, -\operatorname{tg}^2 \theta)}{\sqrt{\operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^4 \theta}}$  – орт нормалі до конусу.

Після проведення нескладних перетворень у (3) отримуємо:

$$\vec{p} \cdot \vec{E}_{S_1} = -jk_0 \frac{\exp(jk_0 r)}{4\pi r} \frac{\sin \theta}{\cos^2 \theta} \sum_{i=1}^m \int_{\alpha_0}^{\alpha_1} F(\psi) \Phi_i(\psi) d\psi, \quad (4)$$

де

$$\Phi_i(\psi) = \frac{1}{2jk_0 \varphi(\psi)} \times$$

$$\times \left[ \exp(j2k_0 z_{2i+1} \varphi(\psi)) \left( z_{2i+1} - \frac{1}{2jk_0 \varphi(\psi)} \right) - \exp(j2k_0 z_{2i} \varphi(\psi)) \left( z_{2i} - \frac{1}{2jk_0 \varphi(\psi)} \right) \right].$$

Таким чином, формула (4) дозволяє нам розрахувати розсіяне поле від носової (конусної) частини БПЛА. Аналогічно може бути розраховано розсіювання на носовій частині оживальної форми (за допомогою апроксимації твірної ломаної лінії), а також на системі кілець, які нахилені.

### Результати розрахунку радіолокаційних характеристик моделі БПЛА Ту-143

ЕПР літака розраховувалась для різних частот зондувальної хвилі у діапазоні 9,6-10,4 ГГц з кроком 10 МГц. Кут місця опромінення змінювався у нижній півсфері в діапазоні 1°-9° з кроком 0,5° і відраховувався від горизонтальної площини.

На рис. 7 наведені дані про ЕПР БПЛА Ту-143 без застосування заходів щодо підвищення радіолокаційної помітності.

Результати розрахунків показали, що під малими кутами місця опромінювання основний вклад у ЕПР літака вносить повітрязабірник та лопатки компресора

двигуна, що забезпечує ЕПР літака на рівні  $0,1 - 0,2 \text{ м}^2$ . При зондуванні під кутами місця більш  $2^\circ$  відбувається екранування повітрязабірника та лопаток компресора двигуна корпусом, що призводить до зменшення значень ЕПР до рівня  $0,01 - 0,05 \text{ м}^2$ , при цьому ЕПР носової частини (обтічника) не перевищує рівня  $0,01 \text{ м}^2$ .

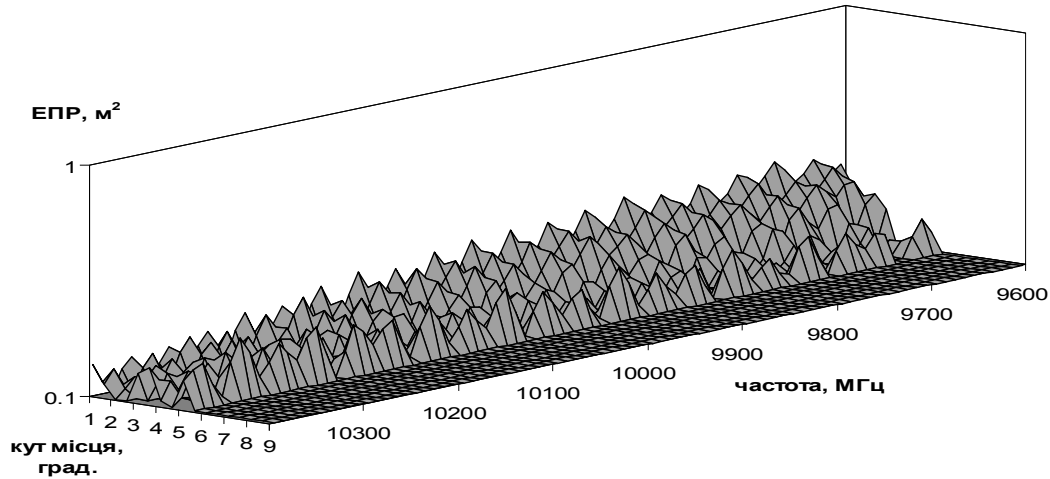


Рис. 7. Об'ємна діаграма залежності ЕПР моделі БПЛА Ту-143 від частоти зондувального сигналу та кута місця опромінення без застосування заходів підвищення радіолокаційної помітності

На рис. 8 наведені дані про ЕПР тільки носової частини Ту-143, а на рис. 9 ЕПР усього літака для випадку, коли застосовано запропонований спосіб підвищення радіолокаційної помітності, який зазначений у розділі “моделювання поверхні БПЛА Ту-143”.

Обтічник літака (частина II рис. 4) вкрито 97 струмопровідними смугами, ширина яких і відстані між якими підібрані для частоти  $9,8 \text{ ГГц}$ .

Кільця смуг мають нахил  $0^\circ$  відносно вісі обтічника (рис. 4).

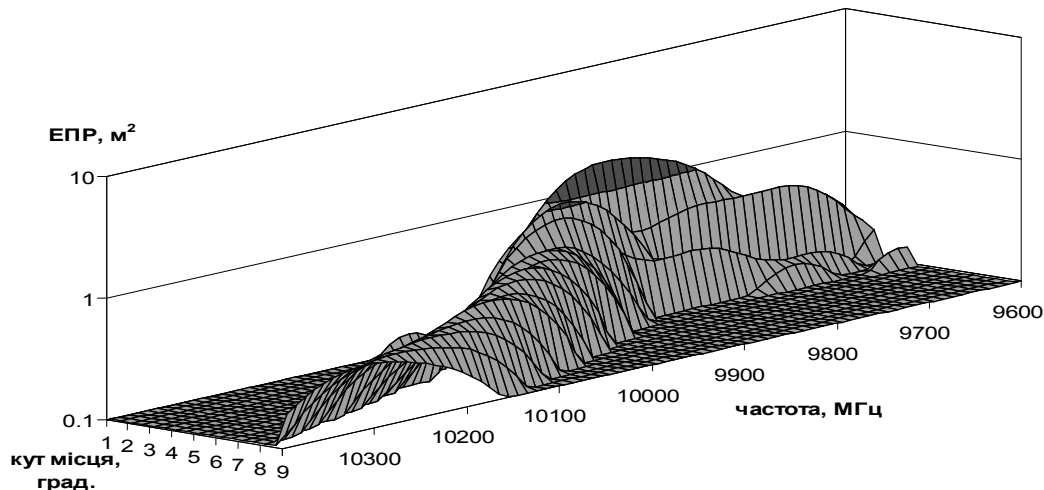


Рис. 8. Об'ємна діаграма залежності ЕПР носової частини БПЛА Ту-143 від частоти зондувальної хвилі та кута місця опромінення

З рис. 8 видно, що ЕПР носової частини літака для частоти  $9,8 \text{ ГГц}$  при ракурсах, близьких до вісного зондування, перевищує рівень  $1 \text{ м}^2$  (так як струмопровідні смуги на поверхні обтічника моделювались ортогонально до продольної вісі обтічника).

При зростанні кута опромінення максимальні значення ЕПР переміщуються в область більш високих частот. Слід зазначити, що максимальні значен-

ня ЕПР літака можуть бути переміщені у площині кутів місця за рахунок нахилу струмопровідних смуг відносно продольної вісі літака, в залежності від вимог конкретної прикладної задачі.

Отримані результати вказують, що, завдяки розміщенню струмопровідних смуг на поверхні обтічника, підвищується ЕПР обтічника, а отже і літака в цілому, мінімум на порядок в розглянутому частотному діапазоні та ракурсах зондування.

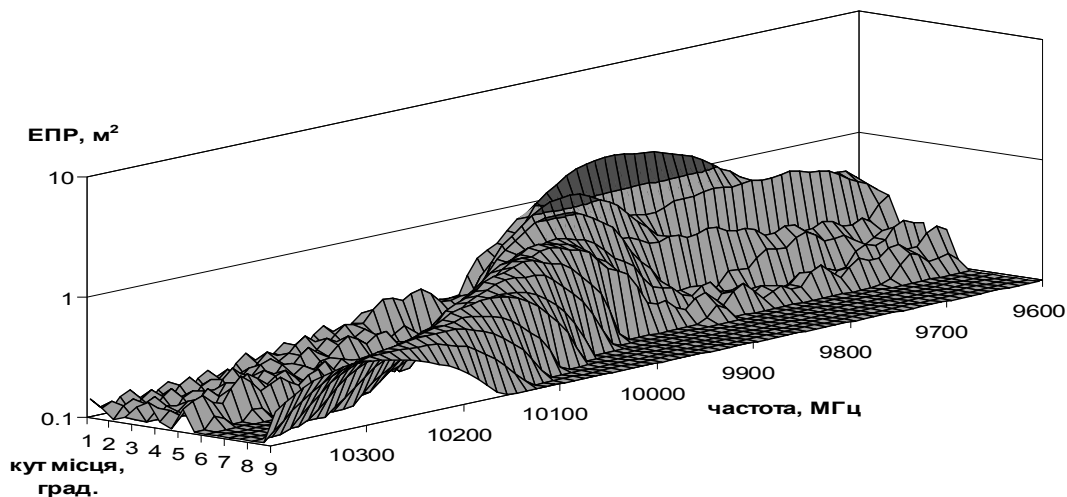


Рис. 9. Об'ємна діаграма залежності ЕПР моделі БПЛА Ту-143 від частоти зондувальної хвилі та кута місця опромінення

Складність конструкції носової частини БПЛА Ту-143 з струмопровідними смугами, з електродинамічної точки зору, потребує експериментального підтвердження і уточнення.

### Висновки

Проведені розрахунки ЕПР БПЛА Ту-143 показали ефективність застосування запропонованого способу підвищення радіолокаційної помітності літака, який забезпечує підвищення ЕПР до 10 разів у широкому діапазоні частот і дозволяє змінювати показники радіолокаційної помітності літака, як відносно частоти зондувальної хвилі (за рахунок підбору ширини струмопровідних кілець і відстаней між ними), так і у площині кутів місця зондування (за рахунок підбору кута нахилу струмопровідних кілець відносно продольної вісі літака).

Вирішення задачі щодо підвищення ЕПР БПЛА Ту-143 дозволить використовувати літак для імітації значно більшого кола типових повітряних цілей, а також підвищує безпеку проведення навчально-бойових стрільб на полігонах.

### Список літератури

1. Великанов В.Д. Радиотехнические системы в ракетной технике / В.Д. Великанов, В.И. Галкин, И.И. Захарченко, Ю.И. Копышко, А.С. Малютин, Л.В. Михайлов. – М.: Воениздат, 1974. – 340 с.
2. Silver S. Microwave Antenna Theory and Design. – MIT Radiation Laboratory Series, No. 12. – New York: Mc Graw-Hill, 1949. – 318 p.
3. Фундаментальные и прикладные задачи теории рассеяния электромагнитных волн / Ю.К. Сиренко, И.В. Сухаревский, О.И. Сухаревский и др. – Х.: Крок, 2000 – 344 с.
4. Рассеяние электромагнитных волн воздушными и наземными радиолокационными объектами: монография / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.В. Кукобко и др.; под ред. О.И. Сухаревского. – Х.: ХУПС, 2009. – 468 с.
5. Кисель В.Н. Электродинамические модели сложных электрофизических объектов и эффективные методы расчета их полей рассеяния: дисс. ... д-р. техн. наук: 01.04.13, 05.12.07 – М.: ОИВТ РАН, 2004. – 339 с.

Надійшла до редколегії 10.04.2012

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

### МЕТОДИКА ПОВЫШЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ЗАМЕТНОСТИ ВОЗДУШНОЙ МИШЕНИ БПЛА ТУ-143

В.А. Василец, О.И. Сухаревский, К.И. Ткачук

Предложен способ повышения радиолокационной заметности воздушной мишени БПЛА Ту-143 тактического комплекса разведки "Рейс". Разработана математическая модель поверхности самолета и проведен математический эксперимент по моделированию обратного вторичного излучения в сантиметровом диапазоне. Получены числовые характеристики радиолокационной заметности БПЛА Ту-143.

**Ключевые слова:** аэродинамическая цель, воздушная мишень, радиолокационная заметность, эффективная поверхность рассеивания.

### METHOD OF RADAR VISIBILITY AUGMENTATION FOR THE AERODYNAMIC TARGET - DRONE TY-143

V.A. Vasilets, O.I. Sukharevsky, K.I. Tkachuk

The method of radar visibility augmentation for the aerodynamic target – drone Ty-143 of the tactical reconnaissance system "Rejs" has been developed. The mathematical model of the aircraft surface has been built. Mathematical experiment of the secondary backward radiation of the aircraft has been conducted and main characteristics of the aircraft radar visibility have been calculated.

**Keywords:** aerodynamic target, radar visibility, aircraft cross-section.