

УДК 621.396.96

К.І. Ткачук

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## РАДІОЛОКАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛІТАКА ДАЛЬНОЇ АВІАЦІЇ ВПС США В-52Н

*Проведений аналіз досвіду та перспектив використання основного літака дальньої авіації США В-52Н. Побудована математична модель поверхні літака В-52Н і проведено математичне моделювання вторинного випромінювання літака при зондуванні у сантиметровому, дециметровому і метровому діапазонах електромагнітних хвиль. Отриманні основні радіолокаційні характеристики літака В-52Н (ефективна поверхня розсіювання (ЕПР), некогерентна ЕПР, середні і медіанні значення ЕПР). Проведений аналіз впливу елементів конструкції літака на його радіолокаційні характеристики.*

**Ключові слова:** аеродинамічна ціль, багатofункціональний літак, вторинне випромінювання, радіолокаційні характеристики.

### Вступ

**Постановка проблеми.** За станом на 2012 рік основним літаком дальньої авіації ВПС США залишається В-52Н. Після суттєвого скорочення парку дальньої авіації, яке для літаків В-52Н закінчилось у січні 2009 року [1, 2] на озброєнні ВПС США залишилось 76 літаків В-52Н, 60 літаків В-1 і 21 літак В-2 [3, 4]. В-52Н має найвищий відсоток бойового використання у порівнянні з іншими літаками дальньої авіації ВПС США. Міністерство оборони США, не зважаючи на п'ятдесятирічний вік літаків В-52Н, високо оцінює оперативні можливості і виключну адаптованість до виконання різноманітних завдань у сучасних військових конфліктах. З метою забезпечення досліджень, щодо розробки нових та модернізації існуючих станцій та комплексів ППО, моделювання бойових дій, в тому числі повітряних операцій необхідна апріорна інформація щодо радіолокаційних характеристик сучасних і перспективних повітряних об'єктів [1, 5].

**Мета роботи.** Проведення аналізу досвіду та перспектив використання основного літака дальньої авіації США В-52Н і отримання чисельних характеристик зворотнього випромінювання літака у сантиметровому, дециметровому і метровому діапазонах електромагнітних хвиль.

### Основний розділ

#### Досвід використання літаків В-52Н

Літаки В-52 різних модифікацій серійно виготовлялися до 1963 року. Усього було виготовлено 744 літаки. За час виробництва існувало вісім найбільш поширених серій літака В-52, а саме А, В, С, D, E, F G і Н. В-52Н – це остання модифікація, крім того, це єдина модифікація, яка залишилась на озброєнні ВПС США у кількості 76 літаків [5 – 8].

Перший літак В-52Н поступив у підрозділі ВПС США 9 травня 1961 року. Виробництво літаків В-52 серії “Н” було припинено 26 жовтня 1962 року,

коли останній виготовлений літак був переданий до ВПС США. В-52Н виготовлялись на заводі у Вичитті (Wichita), штат Канзас, усього збудовано 102 літаки [6 – 8].

В-52 проектувався, як висотний, дозвуковий, тяжкий, міжконтинентальний бомбардувальник для ведення бойових дій по стратегічно важливим цілям противника з використанням ядерної зброї. Водночас з експлуатацією літаків В-52 на протязі понад 50 років проходила безперервна модернізація, як літаків, так і їх бортових систем з метою покращення бойових можливостей та з метою збереження літаків, як ефективної системи озброєння.

На протязі всієї історії існування літаків В-52Н суттєво змінювалась концепція їх використання. У 60 – 80 роках останнього століття традиційні завдання авіації мали чітке розділення між родами авіації. При цьому, історично дальня бомбардувальна авіація використовувалась для глибокого проникнення на територію супротивника з метою знищення стратегічно важливих об'єктів. Але стрімкий розвиток засобів ураження, який спостерігався на протязі останніх десятиріч, особливо в частині суттєвого збільшення дальності дій засобів ураження та їх точностних характеристик, революційно змінили концепцію використання літаків В-52Н. Сучасне використання В-52Н передбачає ураження різних об'єктів супротивника як за типом, так і за місцезнаходженням. Стратегічно важливі стаціонарні об'єкти залишаються основними цілями при проведенні повітряних операцій за участю дальньої авіації, крім того, мобільні об'єкти також увійшли до списку потенційних цілей. Технічні можливості літаків В-52Н щодо одночасного використання різноманітного озброєння, велике корисне навантаження та можливість знаходитися у повітрі на протязі тривалого часу для здійснення розвідки і очікуючи цілевказівок довели високу ефективність літаків В-52Н при застосуванні у сучасних військових конфліктах.

Літаки В-52Н вперше прийняли участь у бойових діях під час операції “Удар в пустелі”, Ірак,

1996 рік. З того часу вони використовувались у всіх крупних військових конфліктах з участю США, а саме [5, 6, 8 – 11]:

– повітряна наступальна операція “Удар в пустелі” (Desert Strike), Ірак, 1996 рік – 2 літака B-52H випустили 29% усіх засобів ураження, які були використані у ході операції (13 крилатих ракет дальньої дії AGM-86C) з метою подавлення ППО Іраку і знищення стратегічної інфраструктури;

– операція “Ліса у пустелі” (Desert Fox), Ірак, 1999 рік – 7 B-52H випустили 90 ALCM, що є приблизно 25% від усіх крилатих ракет, які використані у ході операції (ВМФ випустило 325 ракет “Tomahawk”);

– операція “Союзні сили”, Югославія, 1999 рік – літаки B-52H виконали 180 бойових вильотів, на протязі яких використали 6600 одиниць засобів ураження;

– операція Iraq Freedom, Ірак, 2003 рік – літаки B-52H здійснили 120 бойових вильотів загальною тривалістю 1600 польотних годин на протязі яких доставили біля 1500 тон бомбового навантаження, у тому числі здійснили пуски біля 100 крилатих ракет дальньої дії AGM-86;

– операція Enduring Freedom, 2001-..., Афганістан.

З підвищенням швидкості і вантажопідйомності літаків, точності наведення та дальності польоту засобів ураження бомбардувальник B-52H трансформувався у багатофункціональну систему озброєння з широким спектром бойових задач, включаючи завдання, які раніше взагалі не розглядалися для літаків стратегічної бомбардувальної авіації. В ході операції Enduring Freedom у 2001 році (Афганістан) стратегічна авіація ВПС США, включаючи літаки B-52H, успішно виконувала задачі характерні для тактичної авіації, а саме: вогнева підтримка наземних підрозділів, ураження стаціонарних і мобільних об’єктів, таким чином, довели ефективність нової концепції використання дальньої авіації.

Суттєве збільшення дальності дії засобів ураження, вдосконалення систем наведення озброєння, бортових засобів РЕБ, зв’язку та управління перетворило бомбардувальну авіацію дальньої дії у ефективний комплекс озброєння для прориву ППО противника, завоювання панування у повітрі і забезпечення потужної підтримки наземних підрозділів. Сучасні засоби виявлення та наведення зброї, а також засоби ураження з радіусом дії 1200 – 2400 км дозволяє використовувати B-52H на відстанях, які перевищують дальність дії засобів ППО противника. Така тактика використання літаків B-52H була успішно доведена у ході повітряної наступальної операції “Удар в пустелі” (Ірак, 1996), коли 2 літака B-52H випустили 29% усіх засобів ураження, які

були використані у ході операції з метою подавлення ППО Іраку і знищення стратегічної інфраструктури [10]. При змішаному варіанті озброєння B-52H, після пуску крилатих ракет та подавленні засобів ППО, передбачено подальший прорив на територію противника на малих висотах [1, 5].

Командування ВПС США формулює 6 пріоритетних напрямків бойового застосування сучасної модернізованої версії літака B-52H, а саме [5, 6, 8, 12]:

1. Виконання бойових завдань з використанням ядерних і звичайних (неядерних) засобів ураження у стратегічних наступальних операціях.

2. Виконання бойових завдань у контр наступальних повітряних операціях (на відстанях поза зоною дії засобів ППО і авіації противника).

3. Проведення операції щодо подавлення системи ППО.

4. Виконання бойових завдань у міжвидових морських операціях, у частині: протикорабельної боротьби, постановки морських мін, цілодобового патрулювання.

5. Проведення операцій вогневої підтримки наземних сил, знищення важливих стаціонарних та мобільних об’єктів противника.

6. Проведення спеціальних операцій, а саме: проведення операцій радіоелектронного подавлення, несення цілодобового патрулювання у повітрі, постановка наземних мін, випробування ядерної зброї, проведення досліджень і випробувань авіаційної техніки та озброєння.

Сучасний літак B-52H – це універсальна повітряна платформа, яка технічно може бути суттєво трансформована в залежності від умов конкретного військового конфлікту і типу бойових задач. До унікальних технічних можливостей літаків B-52H фахівці ВПС США відносять [1, 2, 6, 8]:

– найбільший бойовий радіус серед усіх існуючих літаків ВПС США;

– найбільш гнучкі можливості, щодо використання засобів ураження різних типів, у тому числі одночасного використання за предполітною конфігурацією у порівнянні з іншими літаками ВПС США;

– єдиний тип літаків у ВПС США для пусків крилатих ракет дальнього радіусу дії з ядерною і неядерною бойовою частиною (AGM-86, 1200 – 2400 км);

– єдиний тип літаків у ВПС США для пусків протикорабельних крилатих ракет дальнього радіусу дії (AGM-84, до 315 км);

– адаптований для використання ядерної і звичайної (не ядерної) зброї (25% екіпажів B-52H підготовлені для виконання завдань лише з ядерною зброєю, ще 25% лише зі звичайною зброєю і 50% екіпажів підготовлені до участі у бойових діях при використанні, як ядерної так і звичайної зброї).

По суті залишаючись основним бомбардувальником ВПС США на протязі 50 років, літаки В-52Н були модернізовані в багатофункціональні літаки дальньої авіації. Міністерство оборони США у чотирьохрічному оборонному огляді 2001 року наголосило, що розвиток та підтримання бойової готовності багатофункціональних літаків дальньої авіації відноситься до найважливіших завдань міністерства оборони [13].

#### **Перспективи використання парку В-52Н**

Інформація про розробку нового важкого багатофункціонального літака дальнього радіусу дії досить суперечлива. Офіційна позиція Міністерства оборони США змінювалась суттєво декілька раз на протязі останніх 10 – 15 років [14 – 16]. Так, згідно [15] планувалось виробити і поставити на озброєння новий літак до 2037 року. Але у 2004 році був прийнятий інший план щодо виробництва нового літака в період 2025 – 2030 роки, а в період з 2015 – 2018 роки здійснити виробництво і постановку на озброєння проміжної версії нового літака [14]. Пізніше, у останньому чотирьохрічному оборонному огляді, було прийняте рішення відмовитися від деяких властивостей перспективного літака з метою завершення проектування у 2018 році [2]. Усього до 2037 року планується виготовити 150 нових літаків на заміну існуючого парку дальньої авіації ВПС США. Оціночна ціна одного літака 409 мільйонів доларів США. Зважаючи на світову економічну кризу і суттєве скорочення військового бюджету США, залишається можливість, що плани міністерства оборони США щодо проектування та виробництва нового багатофункціонального важкого надзвукового літака дальньої авіації можуть бути змінені. Але незважаючи на терміни постановки на озброєння нового літака дальньої авіації, міністерство оборони США і командування Повітряних Сил США однозначно зазначили, що парк існуючої дальньої авіації планується використовувати до 2037 – 2040 років [2, 5].

ВПС США прогнозує підвищення ролі модифікованої версії В-52Н у сучасних військових конфліктах. Тому основним завданням останнього скорочення парку В-52Н, на якому наполягало ВПС США і яке відбулось 2002 – 2008 роках, було заощадження бюджетних коштів для продовження модернізації літаків В-52Н, які залишилися на озброєнні [2, 5]. Слід зазначити, що під час останнього скорочення командуванням ВПС США було прийняте рішення про скорочення більш нових літаків В-1В у двічі більше (33 літаки, 35 відсотків від загального парку В-1В), ніж літаків В-52Н (17 літаків, 18 відсотків від загального парку В-52Н) [1, 5].

ВПС США наголошує, що літаки В-52Н вважаються безсуперечливими лідерами за числом проведених модифікацій і отримали безпрецедентну гнучкість щодо оперативних можливостей, а також дода-

ткові можливості, які дозволяють літкам В-52Н залишатись основним літаком дальньої авіації ВПС США у стратегічних умовах сьогодення [1, 5, 7].

#### **Радіолокаційні характеристики літака В-52Н**

Сучасна концепція використання літаків В-52Н, як зазначено вище, і технічні можливості сучасних засобів ураження дозволяють ефективно використовувати літаки В-52Н поза територією противника, а також поза зоною дії багатьох сучасних засобів ППО. В той же час, унікальні технічні можливості В-52Н, в-першу чергу велике корисне навантаження і найбільший серед літаків ВПС США бойовий радіус, робить літаки також найбільш уразливим у частині їх радіолокаційної помітності, в першу чергу в силу його габаритних розмірів.

Зважаючи на активне використання літаків В-52Н у сучасних військових конфліктах і перспективи використання у подальшому, дослідження радіолокаційних характеристик літака В-52Н є актуальною задачею у частині забезпечення розвитку засобів ППО і проведення моделювання бойових дій.

Для розрахунків радіолокаційних характеристик літака В-52Н був використаний метод наближеного розрахунку розсіювання плоскої електромагнітної хвилі на ідеально провідному об'єкті великих електричних розмірів [17 – 19]. Метод базується на визначенні еквівалентної щільності електричного та магнітного струму на поверхні розсіювача у наближенні фізичної оптики і застосуванні спеціальних кубатурних формул для розрахування інтегралів, які описують розсіяне об'єктом поле. Метод дозволяє також враховувати дифракцію електромагнітної хвилі на кромочних ділянках поверхні об'єкту складної форми.

#### **Моделювання поверхні В-52Н**

Літак В-52Н виконаний по нормальній схемі і являється монопланом з високо розташованим стрілоподібним крилом великого подовження, трапецієподібним горизонтальним оперенням, яке лежить дещо нижче площини крила та однокілевим вертикальним оперенням. Аеродинамічні форми літака оптимізовані для польоту на великій дозвуковій крейсерській швидкості. Зовнішній вигляд В-52Н зображено на рис. 1. Габаритні розміри: довжина – 48,5 м, розмах крил – 56,4 м.

Для проведення розрахунків радіолокаційних характеристик літака В-52Н була побудована математична модель його поверхні. При моделюванні “гладка” поверхня літака була апроксимована ділянками трьохосних еліпсоїдів. Усього використано 95 еліпсоїдів. Злами поверхні літака моделювались відповідними кромочними ділянками розсіювання, усього 7 кромок. Зовнішній вигляд математичної моделі літака В-52Н представлений на рис. 2.



Рис. 1. Багатофункціональний літак дальньої авіації США В-52Н

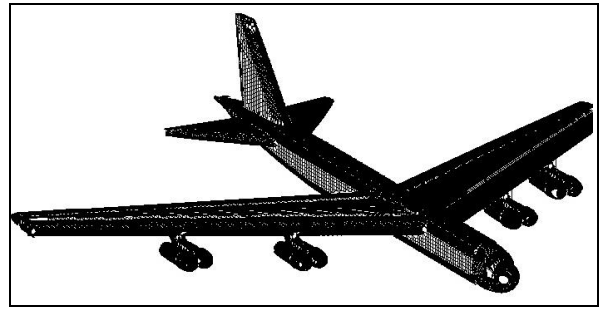


Рис. 2. Модель багатофункціонального літака дальньої авіації США В-52Н

**Результати розрахунку радіолокаційних характеристик моделі багатофункціонального літака дальньої авіації США В-52Н**

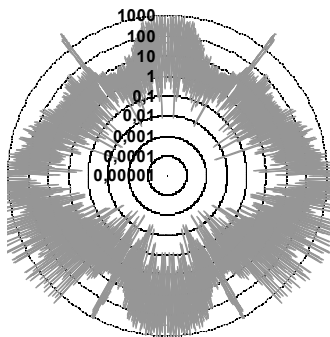
Для всіх наведених у статі графіках та діаграмах параметри моделювання вторинного випромінювання моделі літака В-52Н склали:

- кут розносу між передавачем і приймачем 0 градусів (сумісний зондування);
- кут місця зондування -3 градуси відносно площини горизонту (зондування з нижньої на півсфери);
- азимут відраховується в градусах від носового ракурсу з кроком 0,02 градуса.

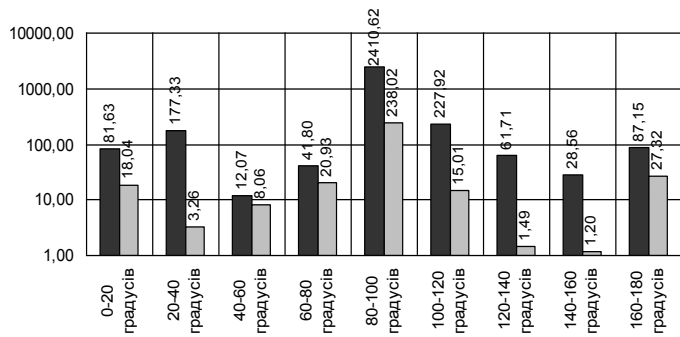
Розрахунок радіолокаційних характеристик моделі літака В-52Н проводився для зондуючих сигналів у сантиметровому, дециметровому та метро-

вому діапазонах на 6 частотах, а саме: 10ГГц (3 см), 5ГГц (6 см), 3ГГц (10 см), 1,3ГГц (23 см), 1ГГц (30 см), 166МГц (180 см). Значення ЕПР наведені в квадратних метрах (рис. 3 – 8).

Отримані результати добре узгоджується з теоретичними дослідженнями радіолокаційних характеристик аеродинамічних об'єктів. Найбільші значення ЕПР спостерігаються для бокових ракурсів. Значення ЕПР у передній півсфері на один-два порядки нижче, ніж для ракурсів задньої півсфери. Для всіх проведених розрахунків функція ЕПР від ракурсу зондування є швидко осцилюючою, при цьому дисперсія значень ЕПР значно вище при зондуванні у сантиметровому та дециметровому діапазонах (рис. 3, а – 7, а) у порівнянні з метровим діапазоном (рис. 8, а).

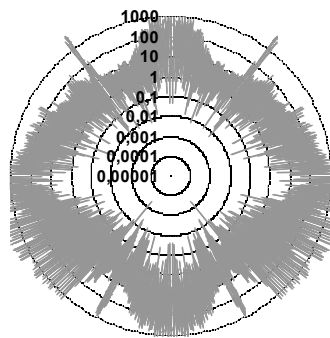


а – кругова діаграма ЕПР

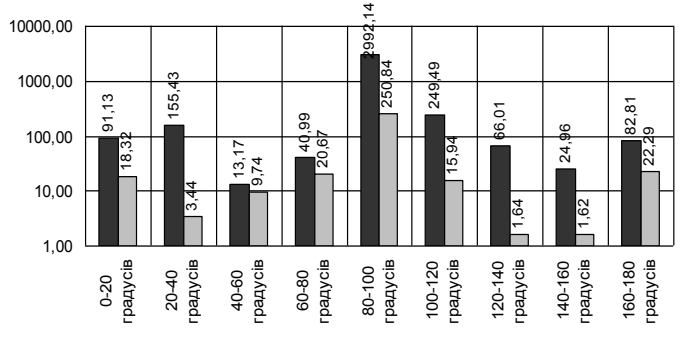


б – гістограма ЕПР

Рис. 3. ЕПР моделі В-52Н, частота зондування 10 ГГц ( $\lambda=3$  см)

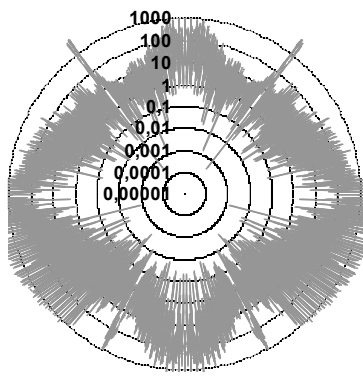


а – кругова діаграма ЕПР

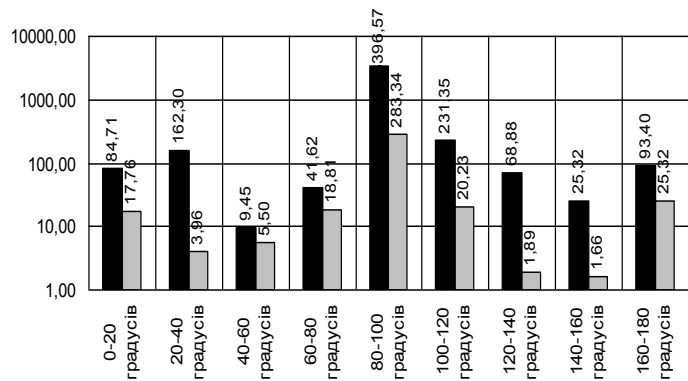


б – гістограма ЕПР

Рис. 4. ЕПР моделі В-52Н, частота зондування 5 ГГц ( $\lambda=6$  см)

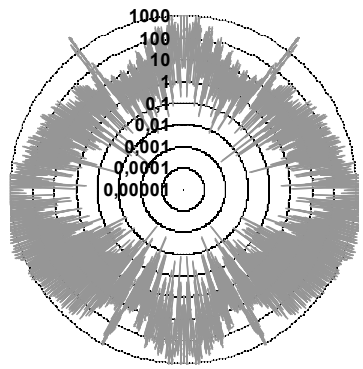


а – кругова діаграма ЕПР

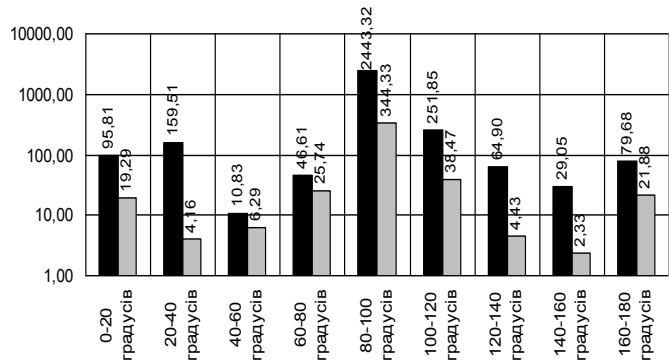


б – гістограма ЕПР

Рис. 5. ЕПР моделі В-52Н, частота зондування 3 ГГц ( $\lambda=10$  см)

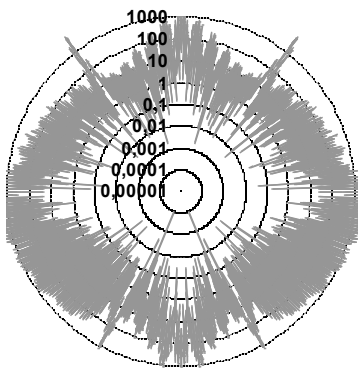


а – кругова діаграма ЕПР

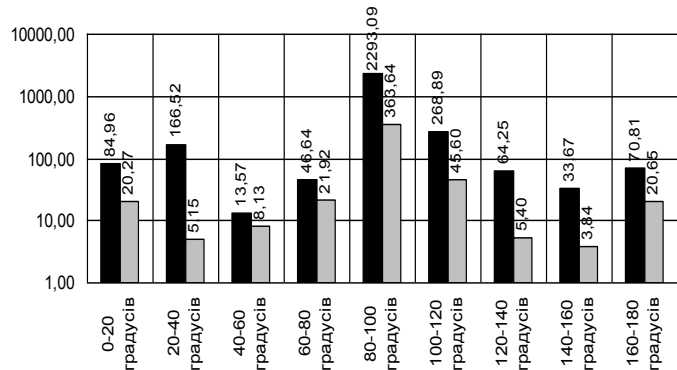


б – гістограма ЕПР

Рис. 6. ЕПР моделі В-52Н, частота зондування 1,3 ГГц ( $\lambda=23$  см)

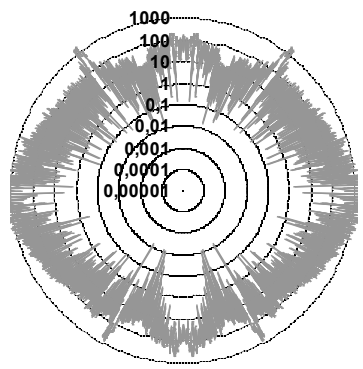


а – кругова діаграма ЕПР

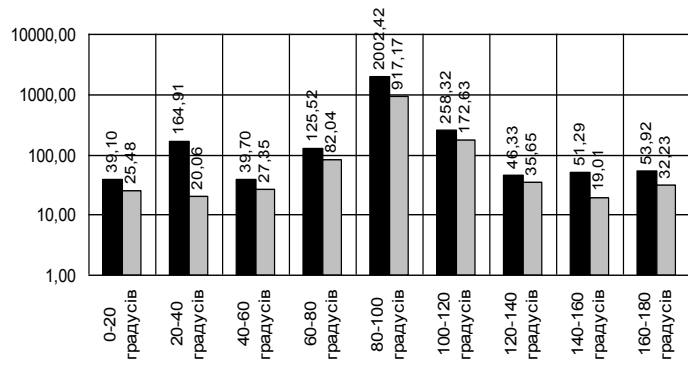


б – гістограма ЕПР

Рис. 7. ЕПР моделі В-52Н, частота зондування 1 ГГц ( $\lambda=30$  см)



а – кругова діаграма ЕПР



б – гістограма ЕПР

Рис. 8. ЕПР моделі В-52Н, частота зондування 166 МГц ( $\lambda=180$  см)

Значення ЕПР для бокових ракурсів досягає  $100 - 1000 \text{ м}^2$ , що обумовлено конструктивною особливістю літака В-52Н, так як бокова поверхня фюзеляжу практично плоска, а, зважаючи на площу цієї ділянки, яка складає  $40 - 50 \text{ м}^2$ , саме вона вносить найбільший вклад у ЕПР літака у зазначених ракурсах. Крім того, для бокових ракурсів зондування площа поверхні літака, яка приймає участь у розсіюванні (“освітлена”) найбільша.

Стрілоподібність В-52Н складає  $37^\circ$ , саме тому для діапазонів ракурсів зондування  $36^\circ - 38^\circ$  і  $322^\circ - 324^\circ$  значень ЕПР мають значний сплеск до тисяч  $\text{м}^2$  для всіх частот зондування, які були використані при розрахунках. Передня кромка крил уявляє собою прямолінійну “гладку” поверхню з досить малою кривизною і довжиною 32 метри. Фактично, при зондуванні у напрямку ортогональному к крилу літака, основний вклад у сумарне відбиття буде вносити лінія на поверхні передньої кромки крила, що “блищить”. Числові значення ЕПР для таких ракурсів обумовлені значною електричною довжиною крила, яка у випадку  $\lambda = 0,03 \text{ м}$  складає  $1066\lambda$ . При цьому ширина сектору зворотнього випромінювання такого елемента є функцією від електричної довжини кромки і у випадку моделі В-52Н дорівнює  $1^\circ$  ( $37^\circ \pm 0,5^\circ$  і  $323^\circ \pm 0,5^\circ$ ). Для ракурсів зондування, які відхиляються від ортогонального напрямління на передню кромку крила на  $0,5 - 1,5^\circ$  значення ЕПР знижуються до десятків  $\text{м}^2$ .

Аналогічне явище виникає для ракурсів зондування у діапазонах  $46^\circ - 48^\circ$  і  $312^\circ - 314^\circ$ , яке обумовлено відбиттям від передньої кромки стабілізаторів (кут прямолінійної кромки стабілізаторів до поздовжньої вісі літака  $\pm 47^\circ$  для лівого і правого стабілізатора, відповідно). В силу того що електрична довжина передньої прямолінійної кромки стабілізатора значно менше, ніж у крила і складає  $300\lambda$  у випадку  $\lambda = 0,03 \text{ м}$ , значення ЕПР досягають лише десятків метрів, але розширюється ширина сектору зворотнього випромінювання такого елемента. Більш того, у випадку  $\lambda = 0,23 \text{ м}$  і  $\lambda = 1,8 \text{ м}$  електрична довжина передньої кромки стабілізатора складає  $39\lambda$  і  $5\lambda$ , відповідно, і значення ЕПР сумірні з ЕПР інших частин літака. Тому на діаграмах ЕПР для випадків  $\lambda = 0,23 \text{ м}$  і  $\lambda = 1,8 \text{ м}$  відсутні явно виражені сплески ЕПР (рис. 7, а – 8, а).

Зазначенні вище пояснення повною мірою відносяться до інших кромочних ділянок літака: задні і бокові кромки крил, горизонтальних та вертикального стабілізаторів.

При лобових ракурсах зондування найбільший вклад у зворотне розсіювання моделі В-52Н вносять передні частини двигунів літака. Форма поверхні і геометричні розміри двигунів дозволяють віднести їх до “гладкої” поверхні, і відповідно, використовувати ділянки еліпсоїдів при створенні математичної

моделі поверхні. Фактично, при зондуванні у напрямку вздовж осі двигуна, виникає кругова лінія на поверхні передньої частини, що “блищить”. Відповідно, зворотне розсіювання для лобових ракурсів у горизонтальній площині обумовлюється зворотнім розсіюванням двигунів, так як інші елементи моделі вносять значно менший вклад у сумарне вторинне випромінювання літака. Значення ЕПР одного двигуна В-52Н для лобових ракурсів досягає десятків і сотен кв. м., в залежності від довжини хвилі зондувального сигналу і відповідно електричного розміру кругової лінії, що блищить на передній частині двигуна. ЕПР моделі В-52Н у діапазоні азимутів зондування  $\pm 8^\circ$  має ярко виражені значні коливання від одиниць до сотен кв. м. (рис. 3 – 8, а), які обумовлені сумарним зворотнім розсіюванням від 8 двигунів, які рознесені на десятки метрів у площині ортогональній до фюзеляжу. Слід також звернути увагу, що амплітуда коливань значень ЕПР для випадку  $\lambda = 1,8 \text{ м}$  значно менше, ніж для випадку  $\lambda = 0,03 \text{ м}$ , що обумовлено різною електричною довжиною двигунів і електричною довжиною відстаней між 8 двигунами літака, в залежності від довжини хвилі зондувального сигналу. Вищезазначені пояснення повною мірою відносяться до задніх частин двигунів і ракурсів зондування близьких до  $180^\circ$  ( $\pm 8^\circ$ ). При зондуванні у напрямках відмінних від паралельного до осі двигуна, на поверхні (передній чи задній) двигуна виникає дві локальні ділянки поверхні, що “блищать”. У цьому випадку зворотне розсіювання від них значно менше, ніж при зондуванні у напрямках вздовж осі двигуна.

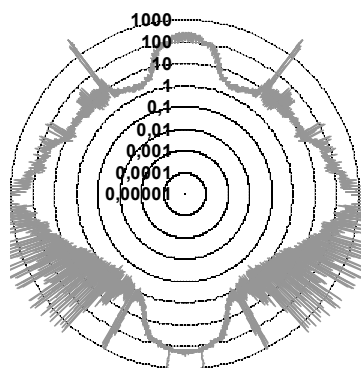
Миттєві значення ЕПР, як правило не використовуються в інженерних розрахунках теорії та техніки радіолокації, так як функція ЕПР від ракурсу зондування є швидко осцилююча, з діапазоном коливань значень ЕПР у декілька порядків, в залежності від електричної довжини об'єктів дослідження і їх конфігурації. Крім того, ракурс об'єкта зондування, особливо для аеродинамічних цілей, є випадковим у зв'язку з постійною вібрацією, тому, з метою надання практичного значення отриманих результатів при дослідженні радіолокаційних характеристик літака В-52Н, у статті наведені середні (стовпчики чорного кольору) і медіанні (стовпчики світло-сірого кольору) значення ЕПР літака (рис. 3 – 8, б). Середні і медіанні значення розраховувались у азимутальних секторах з шириною  $20^\circ$ . Медіанне значення ЕПР – це вибіркоче значення ЕПР з ранжовуваної сукупності значень ЕПР у фіксованому секторі ракурсів зондування шириною  $20^\circ$ , яке розділяє ранжовану сукупність значень ЕПР на дві рівні частини. Принципово середнє значення ЕПР відрізняється від медіанного тим, що середнє значення ЕПР розраховується, а медіанне вибирається з ранжованої сукупності. Слід зазна-

чити, що медіанні значення ЕПР краще характеризують радіолокаційну помітність аеродинамічних об'єктів у порівнянні з середніми значеннями ЕПР. Так, наприклад, якщо у азимутальному секторі з шириною  $20^\circ$  є хоча би один азимутальний напрямок, при якому значення ЕПР суттєво більше (на 2–3 порядки), ніж для решти азимутальних напрямків, то середнє значення ЕПР у секторі буде суттєво відрізнятися від реального для всіх ракурсів зондування. У аналогічному випадку, медіанне значення ЕПР буде відсікати окремі стрибки миттєвого ЕПР. Крім іншого, медіанне значення ЕПР використовується для вирішення задач радіолокаційного виявлення та розпізнавання цілей.

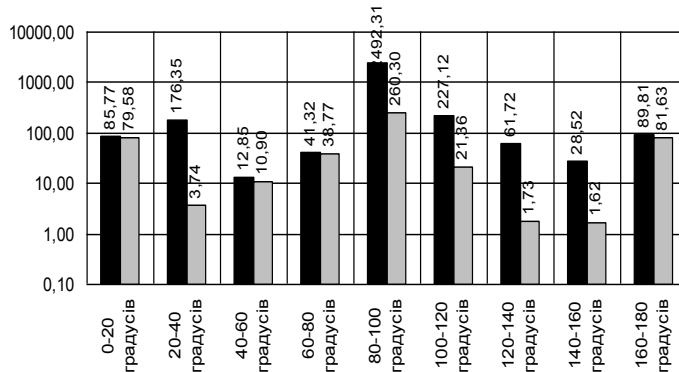
ЕПР об'єкта складної форми є швидкоосцилюючою функцією, яка залежить від частоти зондування сигналу і ракурсу об'єкта. В обох випадках це обумовлено різницею фаз сигналів, відбитих різними ділянками поверхні моделі, а також картиною зон Френеля, що значно змінюється на поверхні об'єкта навіть при незначній зміні частоти зондування сигналу або ракурсу зондування (об'єкта). З метою отримання стійких оцінок ЕПР, необхідно проводити усереднення в частотному діапазоні або в секторі ракурсів зондування [17]. Слід зазначити, що методи розрахунку ЕПР, що використовуються достатньо затратні у частині ресурсів ПЕОМ. Так, розрахунок кругової діаграми ЕПР моделі В-52Н

для фіксованої частоти зондування і фіксованого кута місця зондування з кроком по азимуту  $0,02^\circ$  займає приблизно 30 годин. Внаслідок цього проведення усереднення в частотному діапазоні потребує значного збільшення часу. Як зазначено вище, одним з факторів, які впливають на осциляцію функції ЕПР від частоти і ракурсу зондування є фази, з якими складаються відгуки від різних ділянок поверхні об'єкта. Для зниження впливу цього фактору і, відповідно, з метою отримання більш стійких оцінок ЕПР доцільно використовувати суму ЕПР окремих ділянок поверхні об'єкта, що досліджується. Оцінка ЕПР у цьому випадку має назву "некогерентної" ЕПР, оскільки сума ЕПР окремих ділянок поверхні об'єкта не враховує фазових набігів. У [17] показано, що некогерентна ЕПР практично не відрізняється від ЕПР, яка усереднена в діапазоні частот зондування і є достатньо стійкою оцінкою радіолокаційної помітності об'єктів.

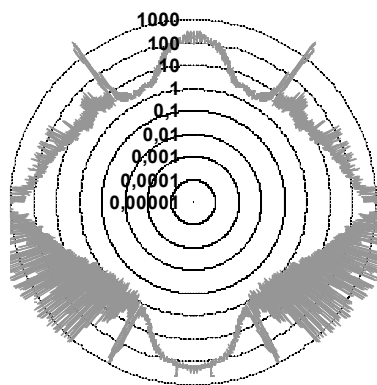
На рис. 9, а – 14, а наведені кругові діаграми некогерентної ЕПР моделі В-52Н, а на рис. 9, б – 14, б гістограми середніх і медіанних значень некогерентної ЕПР для різних частот зондування у сантиметровому, дециметровому та метровому діапазонах. Частоти зондування і умови проведення розрахунків некогерентної ЕПР ті ж самі, як і ті, що були застосовані при розрахунках когерентної ЕПР (рис. 3 – 8).



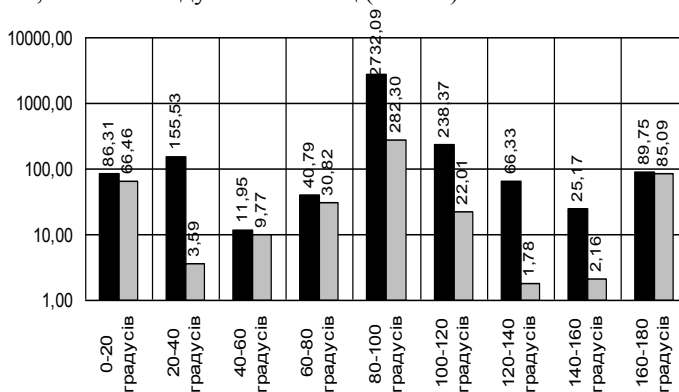
а – кругова діаграма НЕПР



б – гістограма НЕПР

Рис. 9. НЕПР моделі В-52Н, частота зондування 10 ГГц ( $\lambda=3$  см)

а – кругова діаграма НЕПР



б – гістограма НЕПР

Рис. 10. НЕПР моделі В-52Н, частота зондування 5 ГГц ( $\lambda=6$  см)

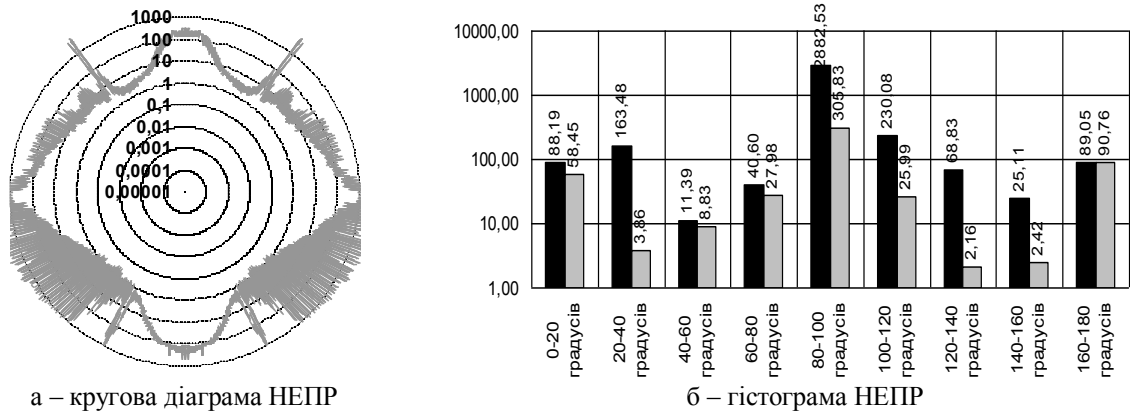


Рис. 11. НЕПР моделі В-52Н, частота зондування 3 ГГц ( $\lambda=10$  см)

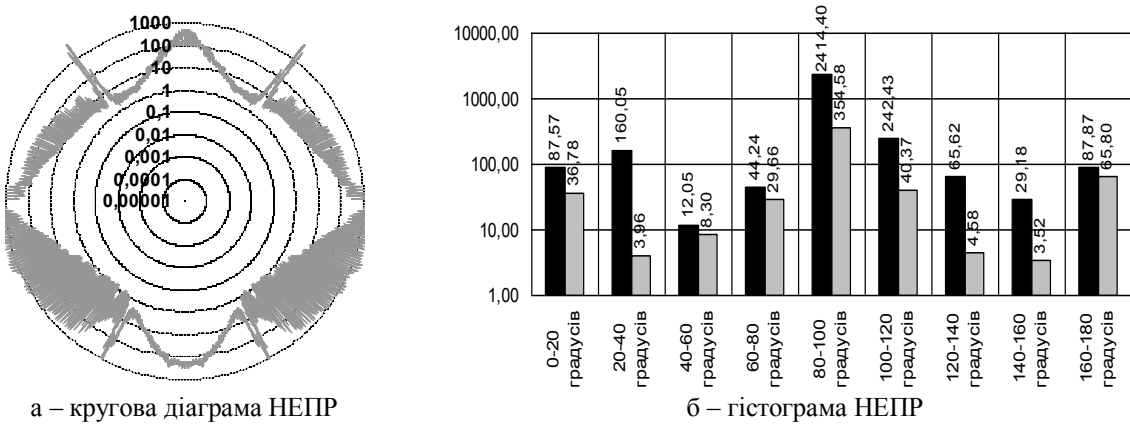


Рис. 12. НЕПР моделі В-52Н, частота зондування 1.3 ГГц ( $\lambda=23$  см)

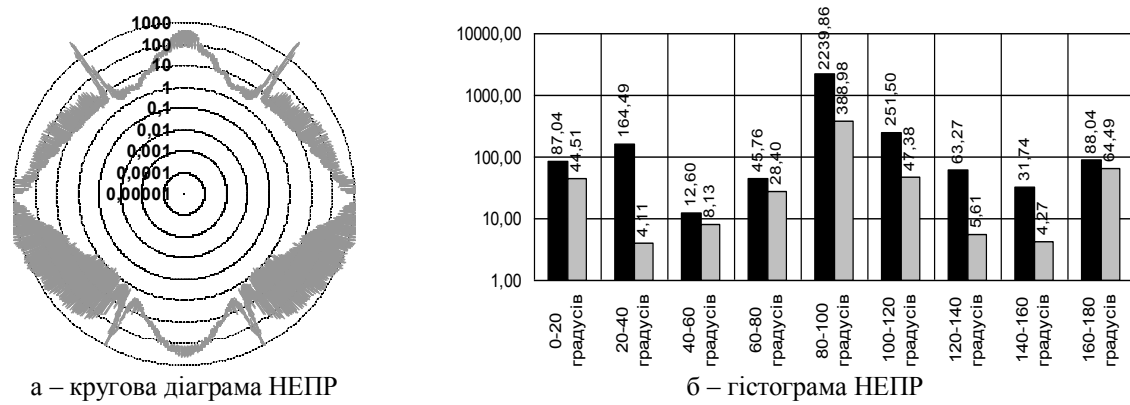


Рис. 13. НЕПР моделі В-52Н, частота зондування 1 ГГц ( $\lambda=30$  см)

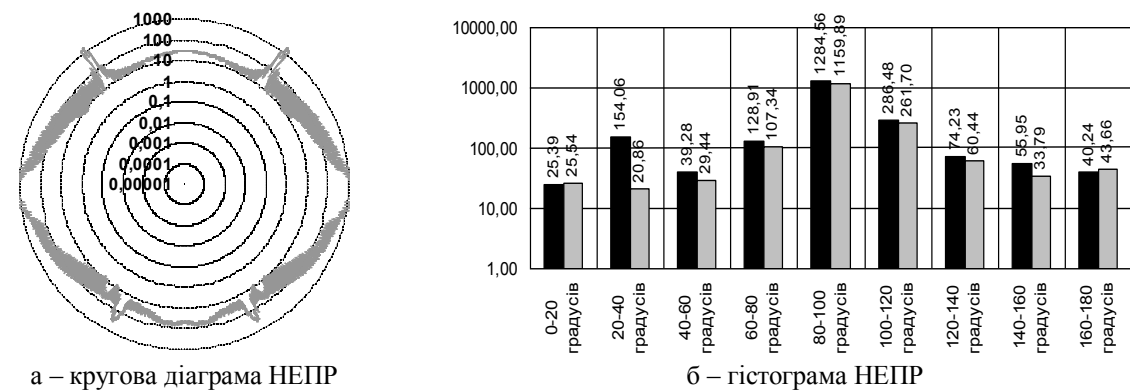


Рис. 14. НЕПР моделі В-52Н, частота зондування 166 МГц ( $\lambda=180$  см)



## Висновки

Розроблена математична модель поверхні літака дальньої авіації ВПС США В-52Н, на базі якої проведено математичне моделювання вторинного випромінювання літака. Отриманні основні радіолокаційні характеристики літака В-52Н (ефективна поверхня розсіювання (ЕПР), некогерентна ЕПР, середні і медіанні значення ЕПР) у сантиметровому, дециметровому і метровому діапазонах електромагнітних хвиль. Отримані результати можуть бути використані для вирішення задач радіолокаційного виявлення та розпізнавання цілей, під час розробки нових та модернізації існуючих станцій та комплексів ППО, моделювання бойових дій.

## Список літератури

1. U.S. Air Force long-range strike aircraft white paper. // US Department of Defense. - 2001, 36 p.
2. Adam J. Hebert, Strategic Force / J. A. Hebert // AIR FORCE Magazine. - 2007. - № 2. - P.38-43.
3. Nuclear Posture Review Report. // US Department of Defense. - 2010, 72 p.
4. The Air Force in Facts and Figures. 2009 USAF Equipment Almanac. // AIR FORCE Magazine. - 2009. - № 5. - P.24-50.
5. Defense Science board task force report on B-52H re-engineing. // Office of the Under Secretary of Defense for acquisition, technology and logistics. Reg. num. 20301-3140. Washington D.C. - 2004. p. 45.
6. B-52 Stratofortress. [Електрон. ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: URL: <http://www.8af.acc.af.mil/information/factsheets/factsheet.asp?id=83>.
7. U.S. Air Force white paper on long range bombers. // Department of the Air Force. - 1999. - p. 28.
8. B-52H Stratofortress. [Електрон. ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: URL: <http://www.minot.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=3724>.
9. 5<sup>th</sup> bomb wing - Minot Air Force base. [Електронний ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: URL: <http://www.minot.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=17110>.

10. [Електрон/ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: Barksdale Air Force Base information. URL: <http://www.barksdale.af.mil/library/factsheets/factsheet.asp?id=4409>.

11. [Електрон. ресурс]. - Режим доступу до ресурсу: Secretary of Defense and Chairman of the Joint Chiefs of Staff Briefing on Operation DESERT FOX. U.S. Department of Defense. Office of the Assistant Secretary of Defense (Public Affairs). URL: <http://www.defense.gov/transcripts/transcript.aspx?transcriptid=1791>.

12. Frank Wolfe. Pentagon to weigh bomber option for replacement jammer / F.Wolfe // Defence Daily. - 1999. - № 1. - P. 48-53.

13. Tirpak J. A. The QDR Goes to War. / J.A. Tirpak // AIR FORCE Magazine. - 2001. - № 12. P.26-31.

14. Adam J. Hebert. The 2018 Bomber and Its Friends. / A.J. Hebert // AIR FORCE Magazine. - 2006. - № 10. - P. 24-29.

15. Tirpak J. A. The bomber Roadmap / J. A. Tirpak // Air Force magazine. - 1999. - Vol. 82, № 6. - P. 30-36.

16. Amy F. Woolf U.S. Strategic Nuclear Forces: Background, Developments, and Issues. / A.F. Woolf // U.S. Congressional research service. #7-5700. Reg. num. RL33640. - 2012. - p. 37.

17. 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.: ХВПС, 2009. - 468 с., ил.

18. Фундаментальные и прикладные задачи теории рассеяния электромагнитных волн / Ю.К. Сиренко, И.В. Сухаревский, О.И. Сухаревский, Н.П. Яшина; под ред. Ю.К. Сиренко. - Х.: Крок, 2000. - 344 с.

19. Эффективная поверхность рассеяния объектов с неидеально отражающей поверхностью, имеющей изломы. / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, С.А. Горелишев, С.В. Нечитайло, К.И. Ткачук // Зарубежная радиоэлектроника. - М., 2001. - № 6. - С. 41-48.

Надійшла до редколегії 28.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. О.І. Сухаревський, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

## РАДИОЛОКАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ САМОЛЕТА ДАЛЬНОЙ АВИАЦИИ ВВС США В-52Н

К.І. Ткачук

Проведен анализ опыта и перспектив использования использования основного самолета дальней авиации США В-52Н. Построена математическая модель поверхности самолета В-52Н и проведено математическое моделирование вторичного излучения самолета при зондировании в сантиметровом, дециметровом и метровом диапазонах электромагнитных волн. Получены основные радиолокационные характеристики самолета В-52Н (эффективная поверхность рассеивания (ЭПР), некогерентная ЭПР, средние и медианные значения ЭПР). Проведен анализ влияния элементов конструкции самолета на его радиолокационные характеристики.

**Ключевые слова:** аэродинамическая цель, многофункциональный самолет, вторичное излучение, радиолокационные характеристики.

## RADAR CHARACTERISTICS OF THE US AIR FORCE LONG RANGE AIRCRAFT B-52H

К.І. Tkachuk

There are experience utilization analysis and analysis of tendency for the future applications of US Air Force long range aircraft B-52H. Mathematical model of B-52H surface has been developed. Based on the model, mathematical modeling of the aircraft secondary radiation was conducted for the centimetric, decimetric and metric electromagnetic waves. Main radar characteristics of B-52H have been calculated, namely: the aircraft absolute cross-section, incoherent cross-section, arithmetic mean values and median values of the aircraft cross-section). There is analysis of the aircraft component influence on its radar characteristics.

**Keywords:** aerodynamic target, backward radiation, multifunctional aircraft, radar characteristic.