

А.Г. Снісаренко

*Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків*

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ РАДІОКАНАЛІВ КОМАНДНИХ РАДІОЛІНІЙ КРИЛАТИХ РАКЕТ

В статті розглядаються питання функціонування радіоканалу командної радіолінії крилатих ракет оперативного-тактичної дальності. Показано, що основними обмежуючими чинниками при організації радіоканалу на середні та великі дальності в УКХ діапазоні є необхідність забезпечення дальності радіовидимості та бюджет радіоканалу. Основними чинниками, що впливають на бюджет радіоканалу, є сталі: направлені властивості антен, потужність передавача та чутливість приймача, а також змінна характеристика, яка пов'язана з оцінкою загасання сигналу при розповсюдженні по радіотрасі. Проведено порівняльний аналіз двох моделей оцінки загасання сигналу: стаціонарної (статистичної) моделі та статистичної моделі прогнозування основних втрат передачі.

**Ключові слова:** командна радіолінія, радіоканал, загасання сигналу, вільний простір, крилата ракета.

### Вступ

**Постановка проблеми.** На протязі останніх десятиліть в арміях провідних світових держав все більше уваги приділяється питанням масованого застосування крилатих ракет (КР) при веденні „безконтактною війни” [1–4]. В останні роки стає все більш актуальним питання застосування тактичних та оперативного-тактичних КР повітряного базування для ураження наземних цілей [5].

Разом з тим, самі розробки оперативного-тактичних комплексів КР проводяться в напрямку створення різноманітних варіантів їх базування: повітряного, морського та наземного, що, в свою чергу, накладає печатку на організацію управління КР з використанням командних радіоліній (КРЛ) [6–9].

Основною тенденцією проектування, створення і модернізації КР є підвищення точності ураження цілей. При цьому основна увага приділяється управлінню польотом КР.

Залежно від калібру та призначення КР існують різні підходи до підвищення точності попадання КР за рахунок управління нею. При цьому підвищення точності може бути досягнуто за рахунок:

- лазерного підсвічування цілі;
- інерціального управління з корекцією по сигналах супутникової навігаційної системи;
- інерціальне управління з використанням кореляційно-екстремальної системи наведення по ознаках цілі (підстилаючої поверхні);
- використання КРЛ з отриманням відеозображення місцевості.

При цьому, одним з найважливіших елементів КРЛ є радіоканал, технічні характеристики якого дозволяють в якнайповнішій мірі реалізувати поте-

нційні бойові можливості такої ракетної зброї, як КР. Тому розгляд питань, пов'язаних з розрахунком характеристик радіоканалу КРЛ, є важливою задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Значна кількість досліджень, які пов'язані з розрахунком характеристик радіоканалів, присвячена питанням організації радіоканалів управління, телеметрії та інформаційних каналів безпілотних авіаційних комплексів, а також розрахунку їх енергетичних характеристик [10–14].

В роботі [10] проаналізовані вимоги та обґрунтовані принципи реалізації каналу управління і телеметрії малогабаритних безпілотних авіаційних комплексів, проведено аналіз можливостей та запропонований принцип реалізації інформаційного каналу, а також розроблені практичні рекомендації щодо реалізації цифрового інформаційного каналу передачі даних.

В роботі [11] розглянуті питання організації командно-телеметричної радіолінії зв'язку з безпілотними літальними апаратами (БПЛА), проведений аналіз бюджету каналу зв'язку, сформовані вимоги до бортового і наземного антенно-фідерного обладнання, також сформовані вимоги до характеристик приймально-передавального обладнання.

В роботі [12] розглянуті питання створення систем цифрового зв'язку БПЛА для високошвидкісної передачі інформації на великі відстані. Розглянуті основні проблеми на шляху створення систем зв'язку дальньої дії, розроблені рекомендації щодо їх подолання, проведено розрахунок бюджету каналу зв'язку для передачі інформації на значні відстані та розглянуті можливі варіанти побудови бортової приймально-передавальної апаратури.

В роботі [13] розглянуті проблемні питання щодо створення системи зв'язку та дистанційного

управління БПЛА середньої та великої дальності, приведені результати системного аналізу обмежень на створення систем такого класу. За результатами розрахунку бюджету каналу зв'язку синтезовані вимоги до характеристик приймально-передавальної апаратури БПЛА та показано, що, при виконанні заданих вимог, можливе забезпечення зв'язку з БПЛА на дальностях 200–300 км в частотному діапазоні 400–600 МГц зі швидкістю передачі даних не менше 2 Мбіт/с.

В роботі [14] обґрунтовані основні вимоги до характеристик пристроїв радіозв'язку з БПЛА, наведені вимоги до систем зв'язку з БПЛА щодо передачі командно-телеметричних даних та даних корисного навантаження, проведено аналіз бюджету каналу зв'язку з БПЛА, розглянуті втрати при розповсюдженні сигналу, розроблені пропозиції щодо вибору виду модуляції з метою забезпечення можливості передачі даних із заданою швидкістю та ймовірністю похибки на значні відстані.

**Мета статті:** на основі розгляду основних складових бюджету радіоканалу КРЛ з урахуванням вимог до його організації та функціонування проаналізувати відомі моделі оцінки основних втрат передачі при розповсюдженні електромагнітної хвилі по трасі польоту КР та їх вплив у складову бюджету радіолінії для забезпечення необхідної дальності з урахуванням вимог до якості передачі інформації.

## Виклад основного матеріалу

У загальному випадку організація радіоканалу КРЛ можлива у разі виконання двох наступних умов:

- наявність прямої видимості між КР та пунктом управління польотом нею;
- забезпечення необхідного співвідношення сигнал/шум на вході приймача з метою якісної роботи, оцінка якої може бути виконана на основі аналізу бюджету радіоканалу.

Для КР середньої дальності різного типу базування, зважаючи на траєкторію польоту, вимога прямої видимості забезпечується по-різному. Так для КР наземного базування пряма видимість може бути забезпечена лише за рахунок використання ретранслятора, в якості якого може виступати як спеціалізований БПЛА, так і супутник [12] при умові наявності необхідного обладнання та дозволу доступу. Для КР повітряного базування пряма видимість досягається висотою польоту носія КР, який може розглядатись і як повітряний пункт управління при умові не входження в зону ураження засобів протиповітряної оборони противника.

Так, для забезпечення прямої видимості КР наземного базування середньої дальності при висоті польоту 50 м достатньо висоти підйому ретранс-

лятора 4 км, який знаходиться поблизу наземного пункту управління, для КР повітряного базування, відповідно, висота повітряного носія має бути не менше 4 км.

Другим важливим чинником при організації радіоканалу КРЛ виступає бюджет радіолінії каналу передачі даних [12–15]. Основною задачею розрахунку бюджету радіолінії є оцінка максимально допустимих втрат при розповсюдженні електромагнітної хвилі на трасі польоту КР. В загальному випадку бюджет радіоканалу розраховується виходячи із наступного виразу [15]:

$$B = P_{\text{тр}} - L_{\text{тр}} + G_{\text{тр}} - L + G_{\text{р}} - L_{\text{р}} - P_{\text{р}}, \quad (1)$$

де  $B$  – бюджет каналу, дБ;

$P_{\text{тр}}$  – вихідна потужність передавача, дБм;

$L_{\text{тр}}$  – втрати в кабелі та антені передавача, дБ;

$G_{\text{тр}}$  – підсилення антени передавача, дБі;

$L$  – загасання сигналу при розповсюдженні по радіотрасі;

$G_{\text{р}}$  – підсилення антени приймача, дБі;

$L_{\text{р}}$  – втрати в кабелі та антені приймача, дБі;

$P_{\text{р}}$  – чутливість приймача (від'ємне число), дБм, яка не може перевищувати рівень теплового шуму на вході приймача.

Аналіз виразу (1) показує, що основними чинниками, які впливають на бюджет радіоканалу, являються направлені властивості антен, потужність передавача та чутливість приймача (тепловий шум).

По своїй суті ці чинники є сталими і характеризуються технічними характеристиками приймально-передавальної апаратури та антенно-фідерних пристроїв передачі-прийому для відповідних діапазонів розповсюдження радіохвиль.

Не менш важливим чинником виступає і загасання сигналу при розповсюдженні по радіотрасі, яке, в свою чергу, залежить не тільки від робочої частоти радіоканалу з відповідним врахуванням стану атмосфери, наявності опадів, а і від відстані між кореспондентами.

Проведені дослідження показують, що в залежності від прийнятої для розрахунків моделі розповсюдження радіосигналу, значення бюджету радіолінії можуть мати різне значення для однакової дальності зв'язку.

Традиційно для розрахунків загасання сигналу по трасі польоту повітряного об'єкту використовуються модель розповсюдження сигналу у вільному просторі [11–14], при якій значення загасання сигналу розраховується за формулою [16]:

$$L = 20 \log \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right), \text{ дБ}, \quad (2)$$

де  $L$  – втрати на розповсюдження у вільному просторі, дБ;

$d$  – відстань між приймачем і передавачем, тобто дальність зв'язку, м;

$\lambda$  – довжина електромагнітної хвилі, м.

Для інженерних розрахунків часто використовують інше рівняння, де замість довжини хвилі використовують частоту [16]:

$$L = 32,4 + 20 \log f + 20 \log d, \text{ дБ} \quad (3)$$

де  $f$  – частота, МГц;

$d$  – відстань, км.

Дана модель відноситься до типу стаціонарної (статистичної) моделі, яка описує усереднені параметри загасання сигналу в будь-якій точці простору в залежності від відстані від передавача та частоти випромінювання, але не враховує висоту польоту повітряного об'єкту над середнім рівнем моря.

Значний інтерес при розрахунку загасання сигналу по трасі польоту повітряного об'єкту викликає статистична модель прогнозування основних втрат передачі в діапазоні частот 125–15500 МГц [17]. Дана модель базується на методі прогнозування основних втрат в зазначеному діапазоні електромагнітних хвиль, який призначений для повітряної та супутникової служб. В методі прогнозування використовується метод інтерполяції по даних основних втрат передачі із сімейства кривих. Ці сімейства кривих можуть використовуватись для радіоліній земля-повітря, земля-супутник, повітря-повітря, повітря-повітря та супутник-супутник.

Єдиними даними, які необхідні для цього методу, є відстані між антенами, висоти антен над середнім рівнем моря, частота та процент часу. Даний метод прогнозування базується на значному об'ємі експериментальних даних.

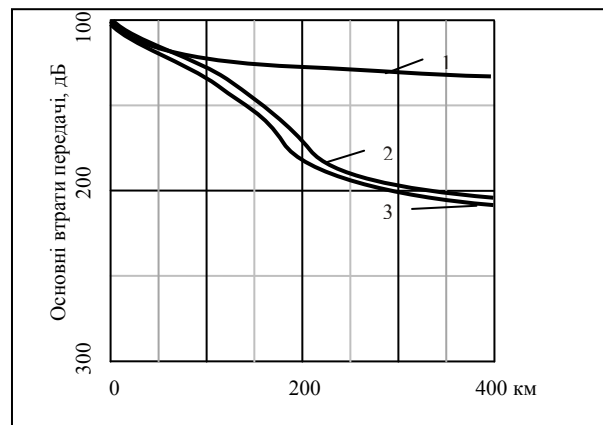
На рис. 1 представлені криві основних втрат передачі для діапазонів 300 МГц, 600 МГц та 1200 МГц для висоти польоту повітряного об'єкту 1 км. На рис. 1 крива 1 відповідає загасанню сигналу у вільному просторі, криві 2 та 3 – висоті антени 30 м та 60 м відповідно над середнім рівнем моря.

Представлені графіки дають змогу провести порівняльний аналіз основних втрат передачі для розглянутих раніше моделей оцінки загасання сигналу при розповсюдженні по радіотрасі.

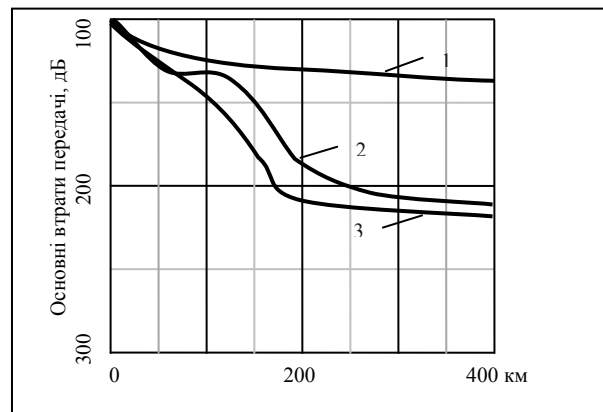
Аналіз графіків показує наступне:

– результати розрахунків основних втрат при розповсюдженні розглянутих моделей майже співпадають для дальності радіоканалів до 25–30 км;

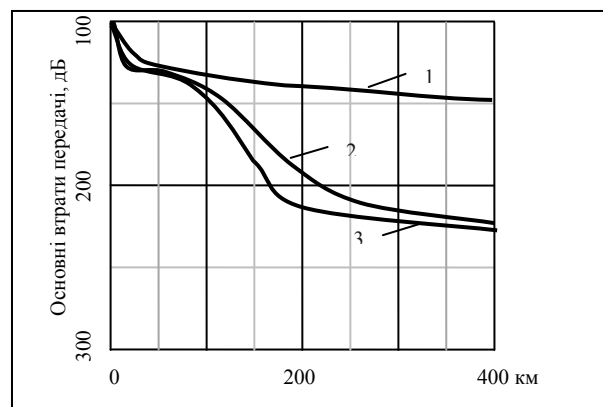
– на більших дальностях спостерігається неспівпадання значень основних втрат передачі, яке стає значнішим при збільшенні дальності радіозв'язку. Так при дальностях до 100 км неспівпадання становить до 10–12 дБ, при дальностях до 300 км – досягає 50–70 дБ в залежності від діапазону.



а – діапазон 300 МГц



б – діапазон 600 МГц



в – діапазон 1200 МГц

Рис. 1. Криві основних втрат передачі

Вище сказане дозволяє стверджувати, що при розрахунку бюджету радіоканалу КРЛ оперативно-тактичних КР для оцінки основних втрат передачі доцільно використовувати статистичну модель прогнозування.

Проведемо розрахунок основних втрат передачі інформації для частот, які в найбільшій мірі використовуються для організації радіоканалів КРЛ, а саме для частот 433 МГц та 900 МГц з урахуванням необхідної висоти для досягнення прямої видимості. Оскільки криві основних втрат передачі для висоти 4 км серед наведених відсутні [17], здійсимо перерахунок (інтерполяцію) основних втрат передачі для

цієї висоти у відповідності з виразом [17]:

$$L = L_{\text{inf}} + (L_{\text{sup}} - L_{\text{inf}}) \times \log(h_{\text{lor2}}/h_{\text{inf}}) / \log(h_{\text{sup}}/h_{\text{inf}}), \text{дБ}, \quad (4)$$

де  $h_1, h_2$  – висоти антен над середнім рівнем моря, для яких потребується прогноз (м);

$h_{\text{inf}}$  – найближча номінальна ефективна висота, яка більше  $h_1$  чи  $h_2$ ;

$h_{\text{sup}}$  – найближча номінальна ефективна висота, яка менше  $h_1$  чи  $h_2$ ;

$L_{\text{inf}}$  – значення втрат передачі для  $h_{\text{inf}}$  на потрібній відстані;

$L_{\text{sup}}$  – значення втрат передачі для  $h_{\text{sup}}$  на потрібній відстані.

В результаті розрахунків отримаємо значення основних втрат передачі на дальності 300 км для висоти 4 км для діапазону 300 МГц – 162 дБ, для діапазону 600 МГц – 172 дБ та для діапазону 1200 МГц – 178 дБ. Далі здійсимо перерахунок значень основних втрат на висоті польоту повітряного об'єкту 4 км для діапазону 430 МГц та 900 МГц у відповідності з виразом [17]:

$$L = L_{\text{inf}} + (L_{\text{sup}} - L_{\text{inf}}) \times \log(f/f_{\text{inf}}) / \log(f_{\text{sup}}/f_{\text{inf}}), \text{дБ}, \quad (5)$$

де  $f$  – частота, для якої потребується прогноз (МГц);

$f_{\text{inf}}$  – нижня номінальна частота;

$f_{\text{sup}}$  – верхня номінальна частота;

$L_{\text{inf}}$  – значення втрат передачі для  $f_{\text{inf}}$ ;

$L_{\text{sup}}$  – значення втрат передачі для  $f_{\text{sup}}$ .

В результаті розрахунків отримаємо значення основних втрат передачі для висоти 4 км на дальності 300 км для діапазону 430 МГц – 168 дБ, для діапазону 900 МГц – 176 дБ. Для порівняння приведемо дані розрахунків для вищезазначених частот та дальності при використанні моделі розповсюдження сигналу у вільному просторі у відповідності з виразом (3): для діапазону 430 МГц – 135 дБ, для діапазону 900 МГц – 141 дБ. Таким чином, різниця в значеннях загасання сигналу при розповсюдженні для діапазону 430 МГц складе 33 дБ, а для діапазону 900 МГц – 35 дБ. Відповідним чином буде відрізнятись значення бюджету радіоканалу КРЛ при сталих значеннях направлених властивостей антен, потужності передавача та чутливості приймача.

Таким чином, з урахуванням необхідності забезпечення необхідного співвідношення сигнал/шум на вході приймача 10-15 дБ [15] проведення розрахунків основних втрат передачі при розповсюдженні із застосуванням моделі розповсюдження сигналу у вільному просторі може привести до похибок проектування радіоканалу КРЛ в напрямку зменшення значень сталих складових бюджету радіоканалу і, як наслідок, зменшення дальності його дії. Так для діапазону 430 МГц зниження дальності може скласти ~ 130 км, а для діапазону 900 МГц – відповідно ~ 120 км.

## Висновки

1. Підвищення точності ураження цілей КР може бути досягнуто за рахунок:

- лазерного підсвічування цілі;
- інерціального управління з корекцією по сигналах супутникової навігаційної системи;
- інерціальне управління з використанням кореляційно-екстремальної системи наведення по ознаках цілі (підстилаючої поверхні);
- використання КРЛ з отриманням відеозображення місцевості.

2. Одним з найважливіших елементів КРЛ є радіоканал, технічні характеристики якого дозволяють в якнайповнішій мірі реалізувати потенційні бойові можливості КР.

3. Організація радіоканалу КРЛ можлива у разі виконання двох наступних умов:

- наявність прямої видимості між КР та пунктом управління польотом нею;
- забезпечення необхідного співвідношення сигнал/шум на вході приймача з метою якісної роботи, оцінка якого може бути виконана на основі аналізу бюджету радіоканалу.

4. Основними чинниками, що впливають на бюджет радіоканалу, являються направлені властивості антен, потужність передавача та чутливість приймача (тепловий шум).

5. Для розрахунків загасання сигналу по трасі польоту повітряного об'єкту малої дальності доцільно використовувати модель розповсюдження сигналу у вільному просторі.

6. При оцінці змінних характеристик бюджету радіоканалу КРЛ КР середньої дальності, а саме, основних втрат передачі сигналу при розповсюдженні, доцільно використовувати статистичну модель прогнозування основних втрат передачі.

## Список літератури

1. Медведь А.Н. Крылатые ракеты и как с ними борются [Електронний ресурс] / А.Н. Медведь. – (2013). – Режим доступу: <http://army-news.ru/2013/07/krylatye-rakety-i-kak-s-nimi-borotsya/>.
2. Крылатые ракеты настоящего и будущего [Електронний ресурс]. – Режим доступу до матеріалу: <http://alternathistory.com/krylatye-rakety-nastoyashchego-i-budushchego>.
3. Ярош С.П. Обгрунтування раціонального варіанту бойового порядку зенітних ракетних підрозділів при відбитті

- удару крилатих ракет / С.П. Ярош // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2014. № 2(15). – С.79-85.
4. Загорка О.М. Комплексна боротьба з крилатими та балістичними ракетами / О.М. Загорка, О.В. Дейнега // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. – 2015. – № 1(18). – С. 6-11.
5. Жарик О.М. Концепція побудови системи високоточного озброєння повітряного базування для вирішення завдань по вогневому ураженню наземних цілей / О.М. Жарик, Ю.М. Агафонов // Системи озброєння і військова техніка. – 2016. – № 14 (45). – С. 88-90.
6. Радиоуправление реактивными снарядами и космическими аппаратами / под общ. ред. Л.С. Гуткина. – М.: Сов. радио, 1968. – 680 с.
7. Авиационные системы радиоуправления в 3-х томах / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. Т.1. Принципы построения систем радиоуправления. Основы синтеза и анализа. – М.: Радиотехника, 2003. – 192 с.
8. Авиационные системы радиоуправления в 3-х томах / под ред. А.И. Канащенкова и В.И. Меркулова. Т.3. Системы командного радиоуправления. Автономные и комбинированные системы наведения. – М.: Радиотехника, 2004. – 320 с.
9. Основы радиоуправления / под ред. В.А. Вейцеля и В.И. Типугина. – М.: Сов. радио, 1973. – 464 с.
10. Обґрунтування принципів побудови каналу управління і телеметрії та інформаційного каналу малогабаритних авіаційних комплексів / С.Г. Рассомахін, А.Г. Снісаренко, В.В. Романенко, В.Б. Бзот // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2009. – Вип. 4(22). – С. 53-59.
11. Боев Н.М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами [Электронный ресурс] / Н.М. Боев // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. – 2012. – Вып. 2 (42). – С. 86-91. –Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-komandno-telemetricheskoy-radiolinii-svyazi-s-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami>.
12. Боев Н.М. Построение систем связи беспилотных летательных аппаратов для передачи информации на большие расстояния / Н.М. Боев, П.В. Шаршавин, И.В. Нигруца // Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел IV. Комплексы с БЛА. – С. 147-158.
13. Донченко А.А. Обоснование требований к системе связи беспилотных летательных аппаратов средней и большой дальности / А.А. Донченко, Д.С. Чиров // Электроника. Радиотехника. Т-Comm, Том 9. #12-2015. – С. 12-16.
14. Полинкин А.В. Исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами / А.В. Полинкин, Х.Т. Ле // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 7. Ч. 2. – С. 98-107.
15. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 1104 с.
16. Рекомендації МСЕ-R P.525. Расчет ослабления в свободном пространстве [Электронный ресурс] – Режим доступа до матеріалів: [https://www.itu.int/dms\\_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-I!!PDF-R.pdf](https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.525-3-201611-I!!PDF-R.pdf).
17. Рекомендації МСЕ-R P.528-3 (02/2012). Кривые распространения радиоволн для воздушной подвижной и радионавигационной служб, работающих в диапазонах ОВЧ, УВЧ и СВЧ. [Электронный ресурс] – Режим доступа до матеріалів: <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.528-3-201202-I>.

## References

1. Medvedj, A.N. (2013), “Krylatyye rakety i kak s nimi borot'sya” [Cruise missiles and how to deal with them, <http://army-news.ru/2013/07/krylatye-rakety-i-kak-s-nimi-borotsya/>].
2. “Krylatyye rakety nastoyashchego i budushchego” [Cruise missiles of the present and future], <http://alternathistory.com/krylatye-rakety-nastoyashchego-i-budushchego>.
3. Yarosh, S.P. (2014), “Obhruntuvannya racional'nogo variantu bojovogo porjadku zenitnykh raketnykh pidrozdiliv pry vidbytti udaru krylatykh raket” [Ground of rational variant of battle-order of zenithal rocket subdivisions at the reflection of blow of the winged rockets], *Science and technique of Air Fors of Ukraine*, No 2(15), pp. 79-85.
4. Zagorka, O.M. and Deynega, O.V. (2015), “Kompleksna borotjba z krylatymy ta balistychnymy raketamy” [The Complex fight against the winged and ballistic rockets], *Science and technique of Air Fors of Ukraine*, No1 (18), pp. 6-11.
5. Zharik, O.M. and Agafonov, Yu.M. (2016) “Kontseptsiya pobudovy systemy vysokotochnoho ozbroynnya povitryanoho bazuvannya dlya vyryshennya zavdanj po vohnevomu urazhennju nazemnykh tsiley” [Concept of construction of high-precision airborne weapons system for solving tasks of fire damage to ground targets], *Systems of Arms and Military Equipment*, No 14 (45), pp. 88-90.
6. “Radioupravleniye reaktivnymi snaryadami i kosmicheskimi apparatami. Pod obshchey redaktsiyey Gutkina L.S.” (1968) [*Radio control of rockets and space vehicles. Under the general editorship of Gutkin L.S.*], Soviet Radio, Moskva, 680 p.
7. Kanashchenkov, A.I. and Merkulov, V.I. (2003), “Aviatsionnyye sistemy radioupravleniya v 3-kh tomakh., tom. 1. Printsipy postroyeniya sistem radioupravleniya. Osnovy sinteza i analiza” [*Aviation radio control systems in 3 volumes. vol.1. Principles of building radio control systems. Fundamentals of synthesis and analysis*], Radiotekhnika, Moskva, 192 p.
8. Kanashchenkov, A.I. and Merkulov, V.I. (2004), “Aviatsionnyye sistemy radioupravleniya v 3-kh tomakh, tom. 3 Sistemy komandnogo radioupravleniya. Avtonomnyye i kombinirovannyye sistemy navedeniya” [*Aviation radio control systems in 3 volumes. Edited by Kanashchenkov, A.I. and Merkulov, v. 3. Command radio control systems. Autonomous and combined guidance systems*], Radio Engineering, Moskva, 320 p.
9. Veytselya, V.A. and Tipugina, V.I. (1973), “Osnovy radioupravleniya” [*Radio control bases*], Soviet radio, Moskva, 464 p.
10. Rassomakhin, S.G., Snisarenko, A.G., Romanenko, V.V. and Bzot, V.B. (2009) “Obhruntuvannya pryntsyypiv pobudovy kanalu upravlinnya i telemetriyi ta informatsiynoho kanalu malohabarytnykh aviatsiynykh kompleksiv” [Justification of the principles of construction of the channel of control and telemetry and the information channel of small-scale aviation complexes], *Scientific Works of Kharkiv National Air Force University*, No. 4(22), pp. 53-59.
11. Boev, N.M. (2012), “Analiz komandno-telemetricheskoy radiolinii svyazi s bespilotnymi letatel'nyimi apparatami” [Analysis of the command-and-telemetry communication line with unmanned aerial vehicles], *Bulletin of the Siberian State*

*Aerospace University named after Academician Reshetnev, M.F.*, No.2 (42), pp.86-91, <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-komandno-telemetricheskoy-radiolinii-svyazi-s-bespilotnymi-letatelnyimi-apparatami>.

12. Boev, N.M., Sharshavin, P.V. and Nigruca, I.V., "Postroyeniye sistem svyazi bespilotnykh letatelnykh apparatov dlya peredachi informatsii na boljshiye rasstoyaniya" [Construction of communication systems for unmanned aerial vehicles for the transmission of information over long distances], *Izvestiya SFU, Technical science, Section IV, Complexes with UAVs*, pp. 147 - 158.

13. Donchenko, A.A. and Chirov, D.S. (2015), "Obosnovaniye trebovaniy k sisteme svyazi bespilotnykh letatelnykh apparatov sredney i bol'shoi dal'nosti" [Substantiation of the requirements for the system of communication of unmanned aerial vehicles of medium and long range], *Electronics. Radio engineering. T-Comm*, Vol. 9, No. 12, pp.12-16.

14. Polynkin, A.V. and Le, Kh.T. (2013), "Issledovaniye kharakteristik radiokanala svyazi s bespilotnymi letatelnyimi apparatami" [Investigation of the characteristics of the radio link with unmanned aerial vehicles], *Izvestiya TulGU. Technical science*, Vol. 7, p. 2, pp. 98-107.

15. Sklar B. (2003), "Tsifrovaya svyaz. Teoreticheskiye osnovy i prakticheskoye primeneniye, Izd. 2-ye, ispr.: Per. s angl'" [Digital communication. Theoretical bases and practical application, Izd. 2nd, revised: Trans. with English], Publishing house "Williams", Moskva, 1104 p.

16. Recommendation ITU-R P.525-3. (2016), "Raschet oslableniya v svobodnom prostranstve" [Calculation of free-space attenuation], <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.525-3-201611-I/en>.

17. Recommendation ITU-R P.528-3 (2012), "Krivyye rasprostraneniya radiovoln dlya vozduшной podvizhnoy i radionavigatsionnoy sluzhby, rabotayushchikh v diapazonakh OVCH, UVCH i SVCH" [Radiowave propagation curves for aeronautical mobile and radionavigation services operating in the VHF, UHF and microwave bands], <http://www.itu.int/rec/R-REC-P.528-3-201202-I/en>.

Надійшла до редколегії 15.01.2018

Схвалена до друку 20.02.2018

#### Відомості про автора:

##### Снісаренко Андрій Георгійович

кандидат технічних наук старший науковий співробітник старший науковий співробітник Харківського національного університету Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-0848-3751>

e-mail: snisarenko63@gmail.com

#### Information about the author:

##### Snisarenko Andriy

Candidate of Technical Sciences Senior Research Senior Research Associate of Ivan Kozhedub Kharkiv National Air Force University, Kharkiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-0848-3751>

e-mail: snisarenko63@gmail.com

### ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА РАДИОКАНАЛОВ КОМАНДНЫХ РАДИОЛИНИЙ КРЫЛАТЫХ РАКЕТ

А.Г. Снисаренко

*В статье рассматриваются вопросы функционирования радиоканала командной радиолнии крылатых ракет оперативно-тактической дальности. Показано, что основными ограничивающими факторами при организации радиоканала на средние и большие дальности в УКВ диапазоне является необходимость обеспечения дальности радиовидимости и бюджет радиоканала. Основными факторами, влияющими на бюджет радиоканала, являются постоянные: направленные свойства антенн, мощность передатчика и чувствительность приемника, а также переменная характеристика, связанная с оценкой затухания сигнала при распространении по радиотрассе. Проведен сравнительный анализ двух моделей оценки затухания сигнала: стационарной (статистической) модели и статистической модели прогнозирования основных потерь передачи.*

**Ключевые слова:** командная радиолния, радиоканал, затухание сигнала, свободное пространство, крылатая ракета.

### FEATURES OF CALCULATION OF RADIO CHANNELS OF COMMAND RADIO LINES OF CRUISE MISSILES

A. Snisarenko

*One of the main methods of targeting operational-tactical missiles is the method of command control, which is based on the use of the command radio link. The operation of the command radio link is largely determined by the possibility of the radio channel functioning, the main task of which is to ensure the transmission of information to the required range of the cruise missile with the required quality, namely, the necessary signal-to-noise ratio at the receiver input.*

*The article deals with the functioning of the radio link of the command radio link of cruise missiles of operational-tactical range. It is shown that the main limiting factors in the organization of a medium-long and long-range radio channel in the VHF band are the need to provide the range of radio visibility and the budget of the radio channel. The main factors affecting the budget for the radio channel are: the directional properties of the antennas, the transmitter power and receiver sensitivity, as well as the variable characteristic associated with the estimation of the signal attenuation during propagation along the radio path. A comparative analysis of two models of signal attenuation estimation is carried out: a stationary (statistical) model and a statistical model for predicting the main transmission losses. The considered approach to the calculation of the radio channel budget of the command radio link can be used in the design of command radio lines for cruise missiles, both airborne and ground-based.*

**Keywords:** command radio line, radio channel, signal attenuation, free space, cruise missile.