

УДК 629.7.022

О.В. Соловійов

*Державне підприємство «Чугуївський авіаційний ремонтний завод», Чугуїв, Україна***ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ШУМУ БПЛА «СТРЕПЕТ-М»**

*В статті показано, що основними джерелами шуму мікроБПЛА є поршневий двигун, повітряний гвинт. На основі аналізу існуючих методів визначення акустичних характеристик зроблено висновок, що у зв'язку з складністю процесів утворення шуму рішення проблем авіаційної акустики тільки теоретичним шляхом не представляється можливим. Це обумовлює необхідність проведення експериментальних досліджень в лабораторних і натурних умовах. Результати вимірювання в натурних умовах за стандартною методикою рівня незаглушеного шуму випуску поршневого двигуна мікроБПЛА «Стрепет-М» задовільно співпали з результатами розрахунку по напівемпіричній методиці.*

**Ключові слова:** аеродинамічний шум, поршневий двигун, повітряний гвинт, експериментальні дослідження, натурний експеримент.

**Вступ**

Інформація для виявлення БПЛА може бути отримана шляхом прийому спеціальними технічними засобами відбитої і випромінюваної БПЛА енергії у всіх діапазонах спектру електромагнітних хвиль [1]. Для пошуку, виявлення і супроводу БПЛА використовуються пристрої, що працюють в радіолокаційному, інфрачервоному, видимому (оптичному) і акустичному діапазонах електромагнітних хвиль, а як показники помітності приймаються ефективна поверхня розсіяння  $\sigma$ , сила інфрачервоного випромінювання  $J$ , контраст яскравості на фоні  $B$  і рівень звукової потужності  $L_p$  відповідно. Визначення значень цих показників є окремою складною задачею, для вирішення якої розроблені експериментальні і теоретичні методи [2-4].

Застосування систем, побудованих на принципі активної радіолокації, в умовах інтенсивної радіоелектронної боротьби та з огляду на малі геометричні розміри БПЛА малоефективне [5]. Слід зазначити, що розвиток радіолокаційних засобів, підвищення їх завадостійкості і можливість резонансного віддзеркалення радіохвиль від малорозмірних ЛА вимагає проведення експериментальних і теоретичних досліджень. Використання пасивних методів виявлення [6, 7], що мають високу скритність свого застосування, стає актуальним, не зважаючи на їх залежність від стану атмосфери, а у разі акустичних систем виявлення – низької роздільної здатності. Оскільки мікроБПЛА мають низький рівень теплового випромінювання поршневих двигунів або надзвичайно низьким рівнем теплового випромінювання електричних двигунів, виявлення малошвидкісних мікроБПЛА найбільш ймовірно в оптичному і акустичному діапазоні електромагнітних хвиль. Тому розробка методик визначення акустичних характеристик мікроБПЛА є актуальною задачею і **метою даної статті**.

**Основний розділ**

Традиційно під шумом розуміється будь-який звук, створюваний чисельними, не злагодженими між собою джерелами. Інтенсивність найгучнішого звуку, який може винести вухо людини, приблизно в  $10^{14}$  разів більше мінімальної, яку воно здатне почути, повна потужність джерел звуку охоплює такий же широкий діапазон.

Так, потужність, випромінювана при дуже тихому шепоті, може бути  $10^{-9}$  Вт, тоді як потужність, випромінювана реактивним двигуном, досягає  $10^5$  Вт.

Як відомо, в якості шумової характеристики джерела шуму можуть бути прийняті різні параметри (ГОСТ 23941-79): рівні звукової потужності джерела, виміряні або розраховані для стандартних частотних смуг, скоректовані рівні звукової потужності, рівні звукового тиску на різних частотах або рівень звуку в характерній фіксованій точці.

Перелік параметрів, що використовуються для цієї мети, особливо в дослідницьких роботах, може бути продовжений, проте слід зазначити, що найоб'єктивнішою і в той же час найповнішою характеристикою джерела шуму на даній частоті або в смузі частот є його звукова потужність.

В технічній акустиці прийнято використовувати логарифмічні величини – рівні звукової потужності, дБ, пов'язані з абсолютними значеннями звукової потужності  $P$ , Вт, випромінюваної в простір, які розраховуються за наступним виразом:

$$L_p = 10 \lg \frac{P}{P_0}, \quad (1)$$

де  $P_0 = 10^{-12}$  Вт – постійне порогове значення.

В табл. 1 наведено рівні звукового тиску для деяких звичайних джерел звуку.

Таблиця 1  
Рівні звукового тиску  
для деяких звичайних джерел звуку

ТИПОВІ РІВНІ ЗВУКОВОГО ТИСКУ	
Джерело звуку	Рівень звукового тиску, дБ (відн. $2 \times 10^{-5}$ Па)
Штампувальний цех	125
Машинне відділення на судні	115
У вагоні метро	95
В автомобілі при русі в потоці транспорту	85
Житлове приміщення	43
Територія житлового району вночі	35
Студія радіомовлення	25

Рівень звукового тиску не зв'язаний простою залежністю з психологічним сприйняттям гучності, що обумовлено наявністю об'єктивних та суб'єктивних чинників. Сприйняття гучності залежить не тільки від інтенсивності звуку, але і від його частоти і умов експерименту. Гучність звуків, не прив'язаних до умов порівняння, порівнювати неможливо. Знаючи рівні звукової потужності джерела шуму і спрямованість випромінювання, можна визначити будь-який шумовий параметр.

Так, для БпЛА важливими спектральними параметрами є рівні звукового тиску на різних частотах і інтегральний параметр – рівень звуку в розрахунковій точці. Рівень звукового тиску (дБ) на даній частоті:

$$L = L_p - 15 \lg r + 10 \lg \Phi - \frac{\beta_a r}{1000} - 10 \lg \Omega, \quad (2)$$

де  $L_p$  – рівень звукової потужності джерела шуму, дБ, на цій частоті (двигуна в цілому);  $r$  – відстань від джерела шуму до розрахункової точки, м;  $\Phi$  – чинник спрямованості джерела шуму;  $\beta_a$  – згасання звуку в атмосфері, дБ/км;  $\Omega$  – просторовий кут випромінювання звуку [8].

Розглянемо основні джерела шуму на мікроБпЛА: двигун, повітряний гвинт, планер. Оскільки швидкості польоту мікроБпЛА дозвуківі, то аеродинамічним шумом планера можна знехтувати, зважаючи на його незначущість, рівно зневажливо малий шум електродвигуна. Таким

чином, основними джерелами шуму мікроБпЛА є поршневі двигун, повітряний гвинт.

Основними джерелами шуму в поршневому двигуні є: процеси впускання свіжого заряду (шум впускання), горіння, випуску відпрацьованих газів (шум випуску); механічне переміщення деталей, що супроводжується ударами і тертям в зчленуваннях і стиках. Останні разом з процесом горіння є джерелами корпусного шуму.

Рівень звукової потужності  $L_p$  сумарного шуму впускання значною мірою залежить від робочого об'єму циліндра:

$$L_{P_{\text{вп max}}} = 20 \lg \left( \frac{V_h}{V_{h0}} \right) + L_{P_1}, \quad (3)$$

де  $L_{P_{\text{вп max}}}$  – рівень звукової потужності сумарного шуму впускання для режиму максимального навантаження, дБ;  $V_{h0} = 1 \text{ см}^3$ ;  $L_{P_1} = 72 \text{ дБ}$  (на підставі експериментальних даних) [8].

Усреднена залежність рівня звукової потужності впускання від навантаження описується залежністю:

$$L_{P_{\text{вп } N_e}} = L_{P_{\text{вп max}}} + 25 \left( \frac{N_e}{N_{e \text{ max}}} \right)^2 - L_{P_2}, \quad (4)$$

де  $L_{P_2} = 25 \text{ дБ}$  [8].

В області низьких частот обертання  $n$  колінчастого валу двигуна звукова потужність сумарного шуму практично пропорційна частоті обертання в четвертому ступені.

Проте при збільшенні  $n$  ця залежність стає менш істотною. На швидкісних режимах, близьких до номінального ( $n = 3500 \dots 5000 \text{ мін}^{-1}$ ), рівень шуму впускання мало залежить від режиму роботи двигуна, тому для розрахунків величини в цьому діапазоні частот можна використовувати загальну формулу:

$$L_{P_{\text{вп } N_e}} = 20 \lg \left( \frac{V_h}{V_{h0}} \right) + 25 \left( \frac{N_e}{N_{e \text{ max}}} \right)^2 + L_{P_3}, \quad (5)$$

де  $L_{P_3} = 47 \text{ дБ}$ .

Процес генерації шуму випуску багато в чому аналогічний процесу на впусканні. Відмінність вносить більш сильно виражена на високих частотах вихрова складова, обумовлена великими швидкостями закінчення газів.

Проте для незаглушеного випуску високі частоти практично не впливають на сумарні рівні, що дозволяє використовувати для оцінки рівня звукової потужності шуму випуску на режимі максимального навантаження і для будь-якого режиму навантаження ті ж формули, прийнявши

$$L_{P_1} \text{ 84 дБ} = L_{P_2} \text{ 10 дБ} = L_{P_3} \text{ 74 дБ} [8].$$

Загальна залежність рівня звукової потужності корпусного шуму від ступеня стиснення,

швидкісного і навантаження режимів має такий вигляд:

$$L_{\text{Pвп}} N_e = 30 \lg \left( \frac{n}{1000} \right) + 20 \lg \varepsilon + 7 \left( \frac{N_e}{N_{e \text{ max}}} \right)^2 + 62. \quad (6)$$

Оскільки рівень незаглушеного шуму поршневого двигуна дуже великий (може складати до 135 дБ), конструкторами БПЛА застосовуються різноманітні засоби заглушається джерел шуму, починаючи, як правило, з домінуючого джерела. Точне визначення ефективності вживаних засобів глушіння ускладнене.

Шум БПЛА з гвинтом може відрізнитися від шуму ізолюваного гвинта залежно від компоновки гвинта на літаку. Так, застосування штовхаючої схеми, розташування гвинта в вихровому сліді за крилом приводить до збільшення рівня шуму орієнтовно на 5 дБ в порівнянні з тягнутою схемою. Традиційно, акустичні вимірювання при випробуваннях маломасштабних гвинтів діаметром до 400 мм проводиться в заглушених камерах (наприклад, в шумозаглушеній камері у складі аеродинамічного комплексу Національного аерокосмічного університету «ХАІ»), проте дають обмежену інформацію, оскільки механізми генерації шуму гвинта у польоті і за відсутності поступального руху відрізняються між собою.

Для розрахунку акустичних характеристик гвинтів застосовуються як аналітичні, так і емпіричні методи розрахунку. Для інженерного розрахунку шуму гвинта найбільш раціонально використання емпіричних методів, заснованих на узагальненні результатів вимірювання шуму натурних і модельних гвинтів.

Таким чином, визначення реальних шумових характеристик БПЛА є складною науково-технічною задачею, рішення якої при обмеженості статистичних даних і недосконалості існуючих методик розрахунку шумових характеристик стикається з непереборними труднощами.

У зв'язку з складністю процесів утворення шуму рішення проблем авіаційної акустики тільки теоретичним шляхом не представляється можливим. Необхідно проводити великий круг експериментальних досліджень в лабораторних і натурних умовах. Такі дослідження дозволяють будувати фізичні моделі процесів освіти і зниження шуму і на основі цих даних створювати надійні методики розрахунку і проектування малошумного БПЛА, оскільки стандартів, безпосередньо обмежуючих шум силової установки на землі і в умовах літакової компоновки або окремо в стендових умовах, не існує.

Натурні вимірювання рівня шуму авіаційного двигуна звичайно проводять в дальньому полі з кроком  $10^\circ$  в точках горизонтальної площини на колі

розміром 100 м (іноді 50 або 150 м). Для зменшення погрішності вимірювань, пов'язаних з віддзеркаленням звукових хвиль від землі і подальшою їх інтерференцією, в кожній точці використовується 2 мікрофони, розташованих на різній висоті від землі: один встановлюється на висоті осі двигуна, другої – на відстані 0,5 м від поверхні землі. Низькочастотна область ( $f < 1250$  Гц) спектру шуму двигуна фіксується мікрофоном, розташованим на висоті 0,5 м, високочастотна – на рівні осі двигуна. Рівень шуму двигуна на відкритому стенді вимірюють за атмосферних умов, що виключають опади і сильний вітер, при температурі від  $-10$  до  $+30^\circ$  С та вологості повітря 40...90 %. Для зниження впливу вітру вимірювальні мікрофони оснащені вітрозахисними пристроями, що не вносять помітних спотворень в звукове поле двигуна. Для підвищення точності вимірювання запис шуму проводиться в межах 1...3 хвилин з подальшим усереднюванням свідчень. При обробці отримані результати корегуються за допомогою поправок, враховуються нерівномірність власної характеристики і ослаблення шуму при його розповсюдженні в атмосфері. Як правило результати приводяться до стандартних умов:  $t = 15^\circ$  С, атмосферний тиск  $P = 101,325$  кПа (760 мм рт.ст), відносна вологість 70 %. Дані вимірювань шуму двигуна на кожному режимі представляють у вигляді таблиць, що включають приведені рівні звукового тиску в трьохоктавних смугах частот 50 ...10000 Гц для всіх напрямів вимірювань. Ці дані є початковими для виміру шуму БПЛА в контрольних точках, що дозволяє оцінити прийнятність акустичних характеристик двигуна і при необхідності виконати конструктивні зміни з метою зниження рівня його шуму.

Для попередніх натурних вимірювань рівня незаглушеного шуму двигуна мікроБПЛА «Стрепет-М» виробництва державного підприємства «Чугуївський авіаремонтний завод» була використана стандартна методика (рис. 1). Для виконання вимірювань використовувався пристрій «Шум-1 М30» з його штатними мікрофонами.

## Висновок

Результати вимірювання незаглушеного шуму випуску поршневого двигуна мікроБПЛА «Стрепет-М», в цілому, задовільно співпали з результатами розрахунку по напівемпіричній методиці (2-6). Так, розрахунок по формулі (2) дає результат в 91 дБ, в натурних вимірюваннях отримано 87 дБ(А). За результатами випробувань були розроблені рекомендації по зниженню рівня шуму до 55 дБ. В подальшій роботі передбачається проведення натурних випробувань в польоті БПЛА «Стрепет-М», «Стрепет-Л», «Стрепет-С» після виконання заходів по зменшенню рівня шуму.

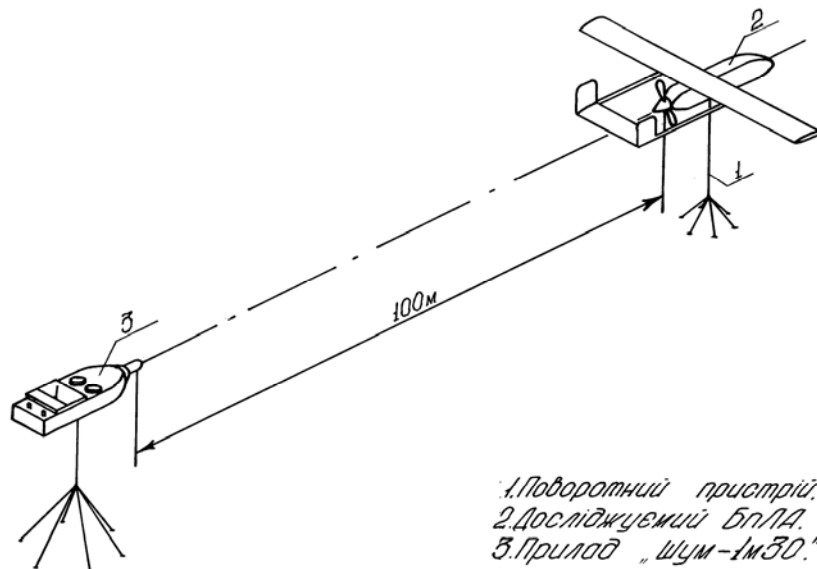


Рис. 1. Схема проведення натурних вимірювань рівня незаглушеного шуму двигуна мікроБПЛА «Стрепет-М»

### Список літератури

1. Гусейнов А.Б. Показатели заметности летательных аппаратов и способы их снижения: Учебное пособие / А.Б. Гусейнов, И.Е. Перков. – М.: МАИ, 2005. – 95 с.
2. Способы оценки радиолокационной и ИК заметности самолетов // Техническая информация ЦАГИ. – № 11 (1585). – 1988. – С. 1-9.
3. Сухаревский О.И. Математическое моделирование радиолокационных характеристик элементов поверхности объектов сложной формы / О.И. Сухаревский, В.А. Василец, К.И. Ткачук, В.Д. Батыев, С.А. Тузиков // Радиотехника: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. – 2004. – Вып. 136. – С. 81-85.
4. Радиолокационные системы: основы построения и теория. Справочник / Я.Д. Ширман, Ю.И. Лосев, Н.Н. Минервин, С.В. Москвитин, С.А. Горшков, Л.И. Леховицкий, Л.С. Левченко / Под ред. Я.Д. Ширмана. – М.: ЗАО «МАК-ВИС», 1998. – 828 с.

5. Слипченко В. Анализ военной кампании НАТО против Югославии весной 1999 года / В. Слипченко // Независимое военное обозрение. – № 25. – 1999.

6. Лазарев Л.П. Оптико-электронные приборы наведения летательных аппаратов / Л.П. Лазарев. – М.: Машиностроение, 1984. – 480 с.

7. Орлов В.А. Приборы наблюдения ночью и при ограниченной видимости / В.А. Орлов, В.И. Петров. – М.: Воениздат, 1989. – 254 с.

8. Двухтактные карбюраторные двигатели внутреннего сгорания / В.М. Кондрашов, Ю.С. Григорьев, В.В. Тупов и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 272 с.

Надійшла до редколегії 14.05.2010

**Рецензент:** канд техн. наук, проф. Ю.І. Миргород, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УРОВНЯ ШУМА БПЛА «СТРЕПЕТ-М»

О.В. Соловьев

В статье показано, что основными источниками шума микробпла является поршневой двигатель, воздушный винт. На основе анализа существующих методов определения акустических характеристик сделан вывод, что в связи со сложностью процессов образования шума решения проблем авиационной акустики только теоретическим путем не представляется возможным. Это обуславливает необходимость проведения экспериментальных исследований в лабораторных и натуральных условиях. Результаты измерения в натуральных условиях за стандартной методикой уровня незаглушенного шума выпуска поршневого двигателя микробпла «Стрепет-М» удовлетворительно совпали с результатами расчета по полуэмпирической методике.

**Ключевые слова:** аэродинамический шум, поршневой двигатель, воздушный винт, экспериментальные исследования, натурный эксперимент.

### EXPERIMENTAL RESEARCHES OF NOISE LEVEL OF PILOTLESS AIRCRAFT "STREPET M"

O.V. Solovyov

In the article it is shown, that the basic sources of noise micro pilotless aircraft are the piston engine, the air screw. On the basis of the analysis of existing methods of definition of acoustic characteristics the conclusion is drawn, decision of problems of aviation acoustics is not obviously possible only by theoretical methods because of complexity of processes of formation of noise. It causes necessity of experimental researches in laboratory and natural conditions. Results of measurement in natural conditions according to a standard technique of level of not muffled noise of release of the piston engine of micro pilotless aircraft "Strepet M" have well coincided with results of calculation by a semiempirical technique.

**Keywords:** aerodynamic noise, the piston engine, the air screw, experimental researches, natural experiment.