

**Шифр: «Далекомір»**

Національний університет цивільного захисту України

Автор: Соловей Антон Геннадійович

Керівник: Григоренко Олександр Миколайович к.т.н., доцент

**Модернізація лазерних далекомірів-висотомірів для потреб  
безпілотної авіації**

**2018**

## ЗМІСТ

Вступ	3
1. Короткі відомості про безпілотні літальні апарати	5
2. Принцип роботи лазерних висотомірів-далекомірів	7
3. Дослідження потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою. Енергетичний розрахунок	9
3.1. Залежність потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), робочої довжини хвилі $\lambda$ та погодних умов	11
3.2. Залежність потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), діаметру приймального об'єктиву та робочої довжини хвилі	16
3.3. Залежність потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), потужності зондуючого сигналу та робочої довжини хвилі	18
Висновки	21
Список джерел та літератури	23

## Вступ

**Актуальність дослідження.** Використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) Державною службою України з надзвичайних ситуацій (ДСНС) дозволяє вирішувати ряд актуальних завдань: запобіганню надзвичайним ситуаціям, підтримки під час проведення оперативно-рятувальних заходів, ліквідація наслідків НС, пошуково-рятувальних операцій тощо [1, 2].

Регулярний моніторинг потенційно небезпечних об'єктів, таких, як крижані затори, торфовища, ГЕС, старі будівлі дозволить значно спростити профілактику надзвичайних подій, а створення цифрових тривимірних моделей місцевості дозволить моделювати різні сценарії затоплень та лісових пожеж, оцінити ризики та мінімізувати їх наслідки.

Повітряний моніторинг за допомогою БПЛА під час проведення оперативно-рятувальних операцій дозволяє отримувати оперативні відомості про хід операції та значно спрощує процедуру координації рятувальних груп.

Для ліквідації наслідків НС важливо мати можливість не тільки отримувати оперативні дані з місця події, але і мати точні дані для планування операцій. Точність картографічних даних забезпечується висококласної фото та навігаційною апаратурою, яка встановлюється на БПЛА.

Для того, щоб забезпечити максимальну оперативність та ефективність дій рятувальної групи важливо отримати точну інформацію про ситуацію. Це завдання вирішується в значній мірі завдяки використанню безпілотників.

Проте використання БПЛА для ліквідації НС часто стримується точністю приладів локації [3, 4], а також обмеженим застосуванням безпілотних дистанційно-пілотованих літальних апаратів у складних погодних умовах.

**Методи дослідження.** В роботі використано математичні методи обробки інформації для аналізу особливостей функціонування лазерного пристрою в умовах мінливої видимості.

**Мета дослідження.** Метою дослідження є визначення вимог до характеристик лазерних далекомірів-висотомірів для розробки рекомендацій щодо їх проектування.

**Завдання дослідження.** Для досягнення поставленої мети вирішуються наступні завдання.

1. Аналіз особливостей застосування безпілотних літальних апаратів для потреб Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

2. Аналіз впливу зовнішніх факторів та технічних характеристик на потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою далекоміра-висотоміра.

**Загальна характеристика наукової роботи.** В роботі наведено аналіз особливостей застосування безпілотних літальних апаратів для потреб Державної служби України з надзвичайних ситуацій. Проведено дослідження впливу зовнішніх факторів та технічних характеристик на потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою далекоміра-висотоміра.

## 1. Короткі відомості про безпілотні літальні апарати

Безпілотний літальний апарат (англ. Unmanned aerial vehicle, скорочено UAV; або англ. Remotely piloted vehicle, нім. Unbemanntes Luftfahrzeug скор. RPV, рос. Беспилотный летательный аппарат, скор. БПЛА або дрон) –літальний апарат, який літає та сідає без фізичної присутності пілота на його борту [5].

БПЛА розрізняються за розміром, продуктивністю і типом. Вони можуть бути майже непомітними, як комахи, або великі, схожі на пілотовані літаки. Вони можуть зависати у повітрі або розвивати швидкість до 1000 км/год. Управління безпілотниками може здійснюватись за допомогою смартфона, планшета або програмного забезпечення супутникового зв'язку. Вони можуть бути запуснені за допомогою ракет, катапульта або вручну і переносити різні види матеріалів, наприклад відеокамери або добрива. Сучасні технології дозволяють літати БПЛА на значні відстані протягом тривалого часу, однак переважна більшість не піднімається більш ніж на 150 м над землею. Повітряний простір на цій висоті використовується здебільшого для польотів планерів та легкомоторної авіації [6].

У залежності від принципів керування БПЛА, розрізняють такі різновиди безпілотних літальних систем [5]:

- безпілотні некеровані;
- безпілотні автоматичні;
- безпілотні дистанційно-пілотовані літальні апарати (ДПЛА).

Для розвідки осередку надзвичайних ситуацій, виходячи із особливостей функціонування БПЛА, та можливістю оперативно приймати рішення щодо зміни маршруту руху літального апарату, найперспективнішим є використання останнього наведеного типу – безпілотних дистанційно-пілотованих літальних апаратів, оснащених телекамерою, ІЧ-апаратурою та системою супутникової навігації (GPS) [7], які працюють у складі безпілотного авіаційного комплексу (БПАК).

Основні системи БПАК [8]:

- оператори БПЛА;
- безпілотний літальний апарат;
- наземний персонал;
- наземний комплекс.

У свою чергу до основних систем безпосередньо БПЛА відносяться:

- планер;
- цільове обладнання;
- системи забезпечення польоту (гідравлічна, пневматична, електрична та зв'язку);
- силова установка;
- паливо або елементи живлення;
- бортове спеціальне обладнання.

Одним з головних елементів малогабаритного БПЛА є бортове спеціальне обладнання, яке забезпечує вирішення основних завдань, що покладаються на комплекс БПАК. В залежності від призначеної БПАК, таке бортове спеціальне обладнання може бути укомплектовано по різному та володіти різними тактико-технічними характеристиками. Виходячи з аналізованих областей практичного застосування відомих проектів малогабаритних БПАК, в якості типового бортового спеціального обладнання малогабаритних БПЛА найбільш часто використовуються різноманітні оптико-електронними системи зондування наземного (надводного) простору – як правило телевізійні, інфрачервоні та лазерні системи [8].

Використання безпілотних літальних апаратів з оптико-електронними системами зондування наземного (надводного) простору що дозволяє оперативно виконувати наступні прикладні задачі:

- огляд місцевості та спостереження за обстановкою на ній;
- отримання детального зображення ділянок місцевості та об'єктів, що розташовані на них;

- виявлення об'єктів невидимих у видимому діапазоні випромінювання (осередків пожеж).

У зв'язку з цим, використання використання лазерних висотомірів у сучасних БПЛА, які використовуються для потреб державної служби надзвичайних ситуацій є актуальним.

## **2. Принцип роботи лазерних висотомірів-далекомірів**

Лазерні висотоміри-далекоміри стали невід'ємною частиною бортового обладнання літаків, вертольотів і БПЛА. Їх широке впровадження обумовлено широким колом завдань, вирішення яких стало можливим завдяки якостям лазерної локаційної техніки [5].

За складом і принципом дії лазерні висотоміри істотно не відрізняються від лазерних далекомірів, призначених для роботи на наземних горизонтальних трасах. Однак лазерним висотомірам притаманні відмінності і особливості, пов'язані з їх установкою на борту літального апарату.

Далекомір-висотомір працює за принципом вимірювання часу проходження зондуючого лазерного імпульсу до об'єкту, що відображає і в зворотньому напрямку (рис. 2.1) [9].

Зондувальний імпульс запускає вимірювач часових інтервалів (ВЧІ), реалізований в складі вирішального пристрою, і за допомогою оптики, яка формує задану діаграму спрямованості випромінювання, надходить на об'єкт. Відбите об'єктом випромінювання за допомогою приймальної оптики фокусується на фоточутливий елемент фотоприймального пристрої (ФПП). На виході ФПП формується стандартний електричний імпульс, який зупиняє лічильну схему ВЧІ. З виходу ВЧІ знімається інформація про виміряну відстань. Робота блоків далекоміра-висотоміра забезпечується блоком живлення і управління, який формує необхідні напруги і синхронізуючі сигнали. Обробка інформації здійснюється у вирішальному пристрої. Запуск

ВЧІ (старт) в нашому випадку проводиться за сумісною схемою – частина потужності випромінювання відводиться на приймач ФПП [10].

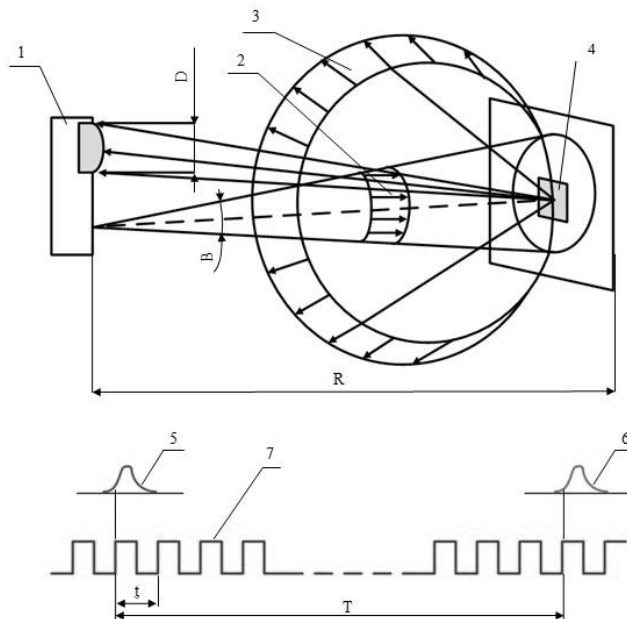


Рисунок 2.1 – Принцип вимірювання відстані лазерним імпульсним далекоміром: 1 – далекомір; 2 – імпульс випромінювання передавача; 3 – імпульс відбитого випромінювання; 4 – ціль; 5 – стартовий світловий імпульс; 6 – стоп-імпульс; 7 – імпульси генератора зразкової (тактової) частоти;  $R$  – вимірювана дальність, м;  $R = \frac{cT}{2} = \frac{nc}{2f}$ ;  $c$  – швидкість світла, м/с;  $T$  – час поширення лазерного випромінювання до об'єкту і назад, с;  $T = nt = \frac{n}{f}$ ;  $n$  – число імпульсів генератора зразкової частоти вимірювача часових інтервалів (ВЧІ);  $t$  – період коливань ВЧІ зразкової частоти, с.

Запуск ВЧІ (старт) за роздільною схемою вимагає введення до складу далекоміра-висотоміра додатково схеми формування старт-імпульсу з окремим приймачем.

Час відгуку сигналу у цьому випадку буде визначатися формулою:

$$T = \frac{2R}{c}, \quad (2.1)$$

де  $R$  – відстань до об'єкта (цілі),  $c$  – швидкість світла (рис. 1.2) [10].



При узгодженій схемі зондуєчий і відбитий ціллю (об'єктом) імпульс проходить по одному каналу. Завдяки цьому компенсується частина систематичних помилок і забезпечується максимальна точність вимірювання.

### **3. Дослідження потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою. Енергетичний розрахунок**

Діапазон вимірюваних дальностей – основна характеристика далекоміра (висотоміра), яка визначає можливості його застосування. Діапазон вимірюваних дальностей забезпечується:

1) апаратними обмеженнями (тіньовою зоною, ємністю вимірювача часових інтервалів, частотою зондування і т.п.)

2) енергетичним потенціалом далекоміра, визначеним енергетичними характеристиками оптико-електронних елементів приймально-передавального тракту, конструктивними характеристиками оптичної системи.

Реально дальність до заданої цілі, яка вимірюється приладом, в певних умовах і при відомих імовірнісних характеристиках, що впливають на її виявлення, називається дальністю дії [10-12]. Дальність дії залежить від багатьох факторів, у тому числі від конструктивних особливостей приладу та погодних умов.

Дальність дії далекоміра забезпечується при дотриманні нерівності, що визначається рівнянням лазерної локації [13]:

$$E_{\min} < E_{\text{пр}} = E_0 \cdot K \cdot D_{\text{пр}}^2 \cdot \tau_a \tau_o / 4R^2, \quad (3.1)$$

де  $E_{\min}$  – мінімальна прийнята із заданою вірогідністю потужність сигналу, що забезпечується чутливістю фотоприймального пристрою (реальна чутливість);

$E_{\text{пр}}$  – потужність сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого

елемента фотоприймального пристрою;

$E_0$  – потужність зонduючого сигналу;

$K = \frac{\iint_{\infty} \psi(x, y) \rho(x, y) dx dy}{\iint_{\infty} \psi(x, y) dx dy}$  – коефіцієнт енергетичного перекриття

зонduючого пучка ціллю (коефіцієнт використання випромінювання);

$\rho(x, y)$  – просторовий розподіл коефіцієнта яскравості цілі;

$\psi(x, y)$  – діаграма спрямованості вихідного зонduючого пучка;

$D_{\text{пр}}$  – діаметр приймального об'єктива;

$\tau_a = e^{-2\mu R}$  – коефіцієнт пропускання атмосфери на трасі;

$\mu$  – показник ослаблення;

$\tau_0$  – коефіцієнт пропускання оптики приймального каналу далекоміра  
( $\tau_0 = 0,8$ );

$R$  – дальність до цілі.

Показник ослаблення  $\mu$  пов'язаний з метеорологічної дальністю видимості  $V$ , км, відомим емпіричним виразом [11, 13]:

$$\mu = \frac{3,91}{V} \left( \frac{0,55}{\lambda} \right)^{\kappa}, \quad (3.2)$$

де  $\lambda$  – робоча довжина хвилі, мкм;

$$\kappa = 0,585 \sqrt[3]{V}. \quad (3.3)$$

Згідно [14] метеорологічна дальність видимості – найбільша відстань, на якій можна побачити і розпізнати абсолютно чорний об'єкт прийнятних розмірів, що є поблизу землі, якщо спостерігати цей об'єкт на світлому фоні, а в темну пору доби – побачити і розпізнати вогні електроламп помірної інтенсивності (60 Вт).

Згідно [15] метеорологічна дальність видимості залежить від погодних умов і має значення від  $< 0,05$  км для дуже сильного туману і до  $> 65$  км для

відмінної видимості на висоті 7-10 км.

У роботі для визначення потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою згідно формули 3.1 приймали наступні значення  $V$  – 1, 2, 10 і 20 км, які відповідають погодним умовам слабого туману, дуже сильної димки, помітної димки і гарної видимості відповідно.

Для розрахунку приймали наступні значення робочої довжини хвилі  $\lambda$  0,53; 0,69; 1,06, які є найпоширенішими для сучасних систем лазерних далекомірів.

Дальність до цілі ( $R$ ) приймали рівним від 50 до 500 м.

Діаметр приймального об'єктиву  $D_{\text{пр}}$  приймали рівним від 0,05 до 0,3 м.

Коефіцієнт енергетичного перекриття зондуючого пучка ціллю (коефіцієнт використання випромінювання) приймали рівним 1.

Енергія зондуючого сигналу – від 50 до 200 Вт.

### **3.1. Залежність потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), робочої довжини хвилі $\lambda$ та погодних умов**

Визначення залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) розраховували за формулою 3.1.

Розрахунки проводилися для лазерного пристрою з діаметром приймального об'єктиву ( $D_{\text{пр}} = 0,3$  м) та потужністю зондуючого сигналу ( $E_0 = 100$  Вт).

Результати розрахунків для різних робочих довжин хвиль  $\lambda_1$ - $\lambda_3$  в умовах слабого туману ( $V_1 = 1$  км), дуже сильної димки ( $V_2 = 2$  км), помітної димки ( $V_3 = 10$  км) і гарної видимості ( $V_4 = 20$  км) представлені у вигляді графіків на рис.3.1-3.7.

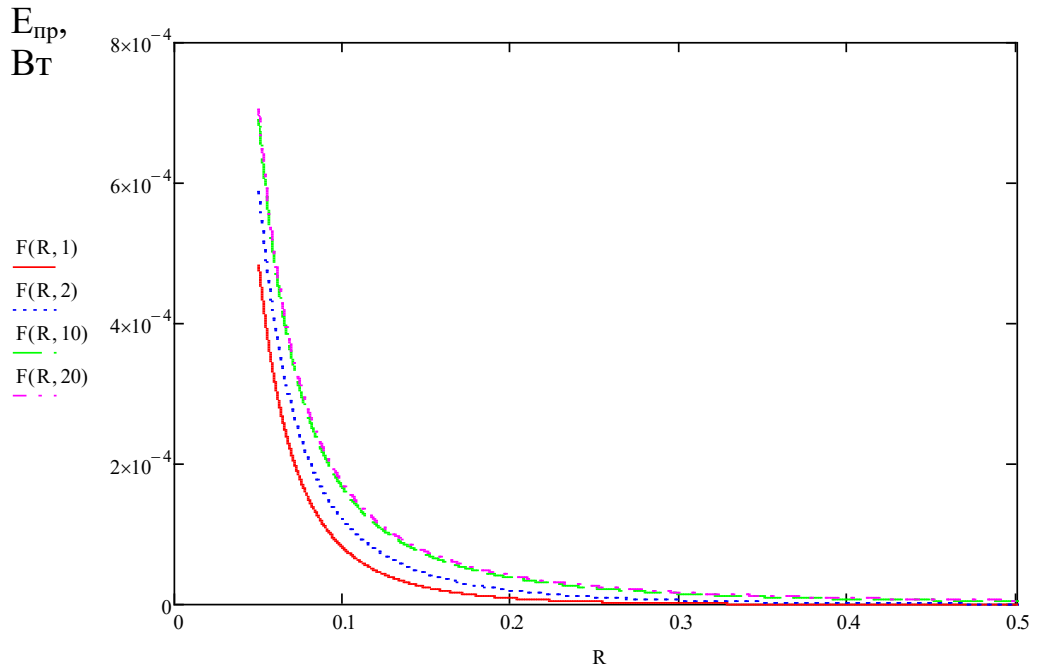


Рисунок 3.1 – Залежності потужності сигналу , що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) в умовах слабкого туману ( $V_1 = 1$  км), дуже сильної димки ( $V_2 = 2$  км), помітної димки ( $V_3 = 10$  км) і гарної видимості ( $V_4 = 20$  км) для робочої довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,53$  мкм.

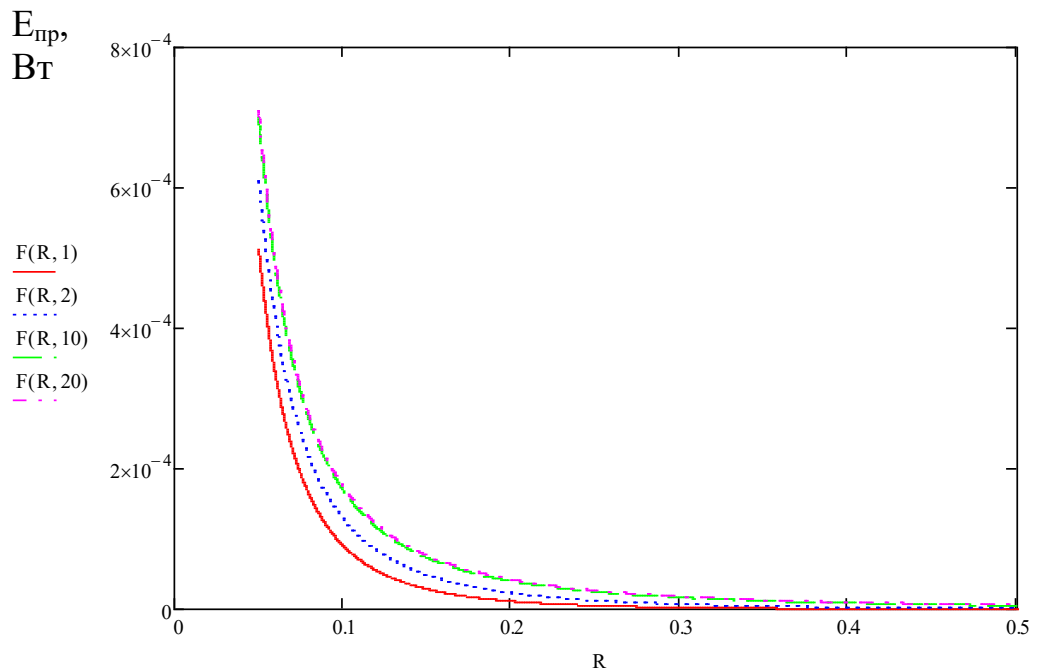


Рисунок 3.2 – Залежності потужності сигналу , що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) в умовах слабкого туману ( $V_1 = 1$  км), дуже сильної димки ( $V_2 = 2$  км), помітної димки ( $V_3 = 10$  км) і гарної видимості ( $V_4 = 20$  км) для робочої довжини хвилі  $\lambda_2 = 0,69$  мкм.

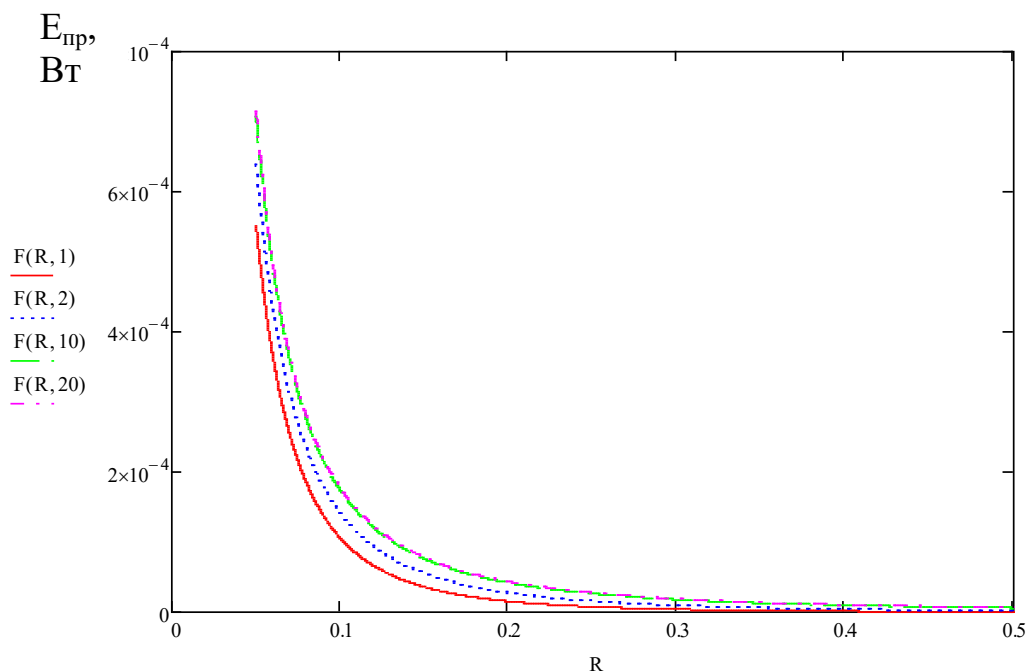


Рисунок 3.3 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) в умовах слабкого туману ( $V_1 = 1$  км), дуже сильної димки ( $V_2 = 2$  км), помітної димки ( $V_3 = 10$  км) і гарної видимості ( $V_4 = 20$  км) для робочої довжини хвилі  $\lambda_3 = 1,06$  мкм.

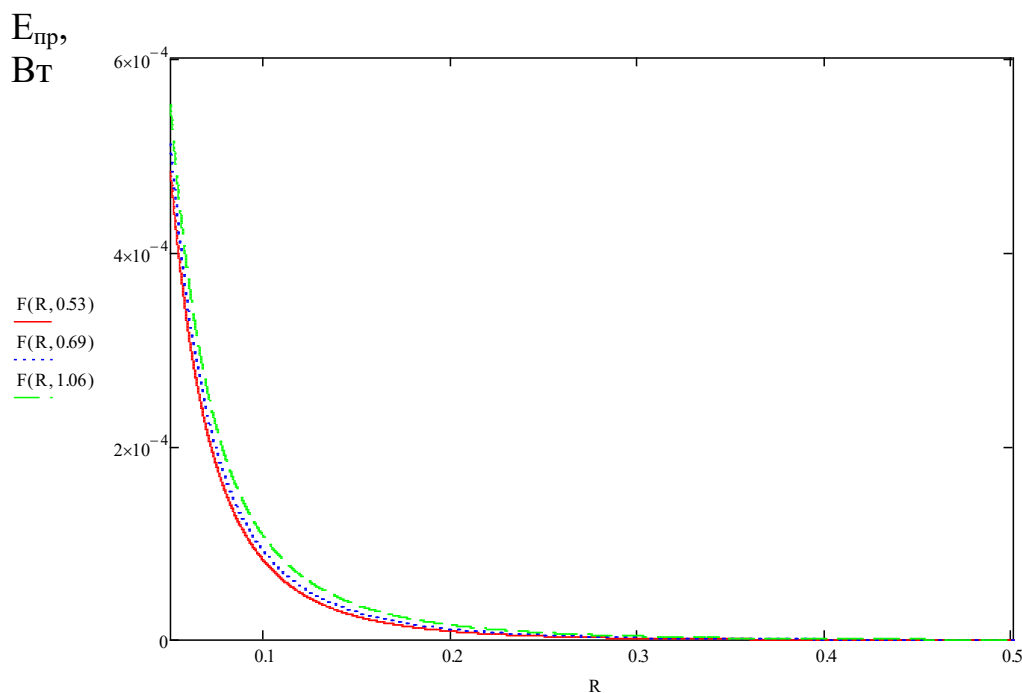


Рисунок 3.4 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) в умовах слабкого туману ( $V_1 = 1$  км), для робочої довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,53$  мкм,  $\lambda_2 = 0,69$  мкм і  $\lambda_3 = 1,06$  мкм.

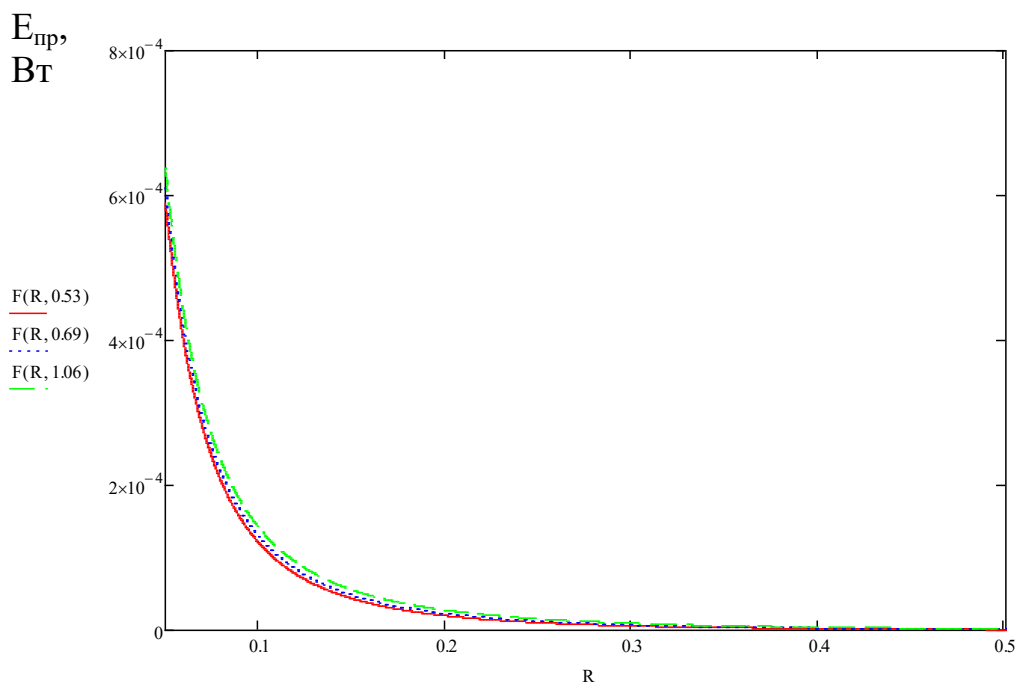


Рисунок 3.5 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) в умовах дуже сильної димки ( $V_2 = 2$  км), для робочої довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,53$  мкм,  $\lambda_2 = 0,69$  мкм і  $\lambda_3 = 1,06$  мкм.

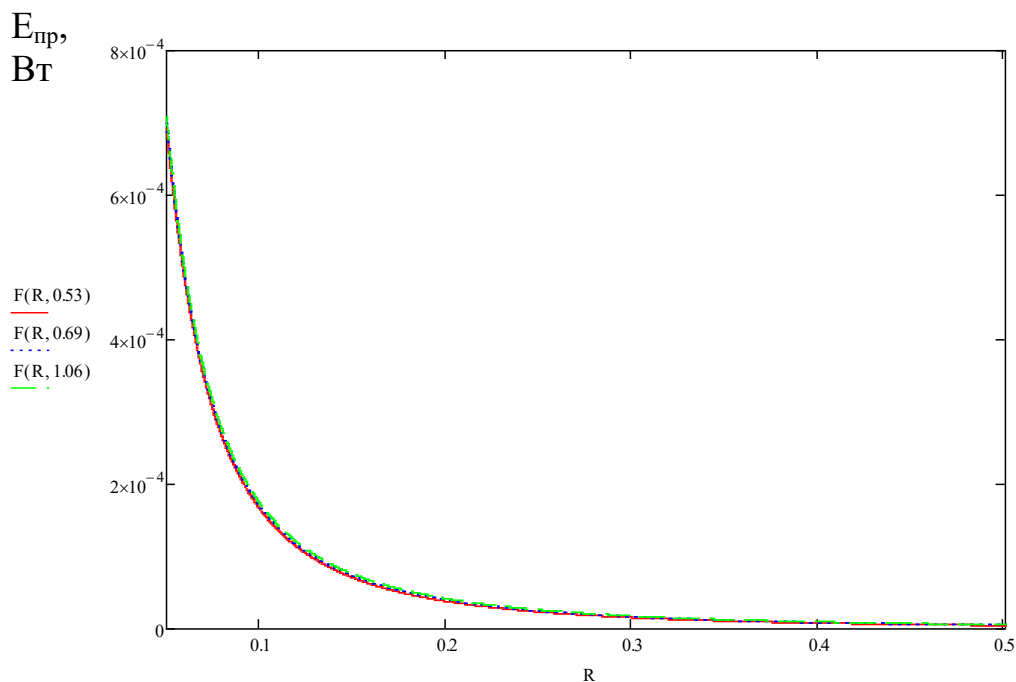


Рисунок 3.6 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) в умовах помітної димки ( $V_3 = 10$  км), для робочої довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,53$  мкм,  $\lambda_2 = 0,69$  мкм і  $\lambda_3 = 1,06$  мкм.

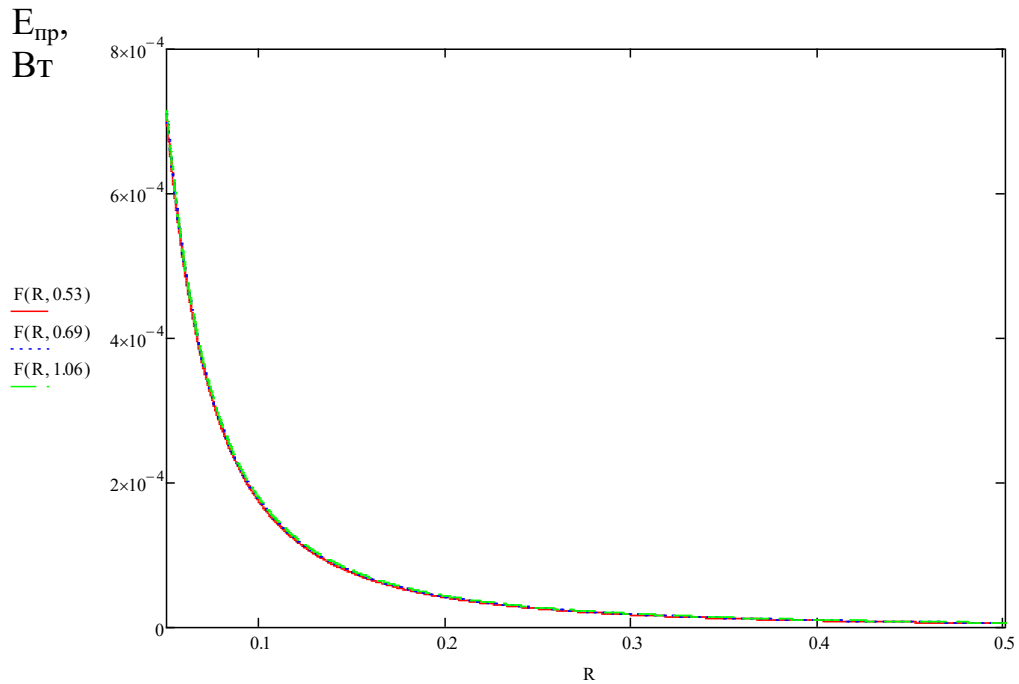


Рисунок 3.7 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) в умовах гарної видимості ( $V_4 = 20$  км), для робочої довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,53$  мкм,  $\lambda_2 = 0,69$  мкм і  $\lambda_3 = 1,06$  мкм.

Як видно із рис. 3.1-3.7 потужність сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) значно залежить від погодних умов в діапазоні метеорологічної дальності видимості до 2 км. Починаючи зі значень метеорологічної дальності видимості від 10 км і вище потужність сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою змінюється не суттєво.

Аналіз графіків на рис. 3.4-3.7 показує, що в умовах помірної видимості (слабкого туману) доцільно використовувати лазерні далекоміри-висотоміри з більшою довжиною хвиль (нижчих частот).

### 3.2. Залежність потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), діаметру приймального об'єктиву та робочої довжини хвилі

Визначення залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) розраховували за формулою 3.1.

Розрахунки проводилися для лазерного пристрою з потужністю зондуючого сигналу ( $E_0 = 100$  Вт) в умовах дуже сильної димки ( $V_2 = 2$  км).

Результати розрахунків для різних робочих довжин хвиль  $\lambda_1$ - $\lambda_3$  та діаметрів приймального об'єктиву (від 0,05 до 0,3 м) представлені у вигляді графіків на рис.3.8-3.10.

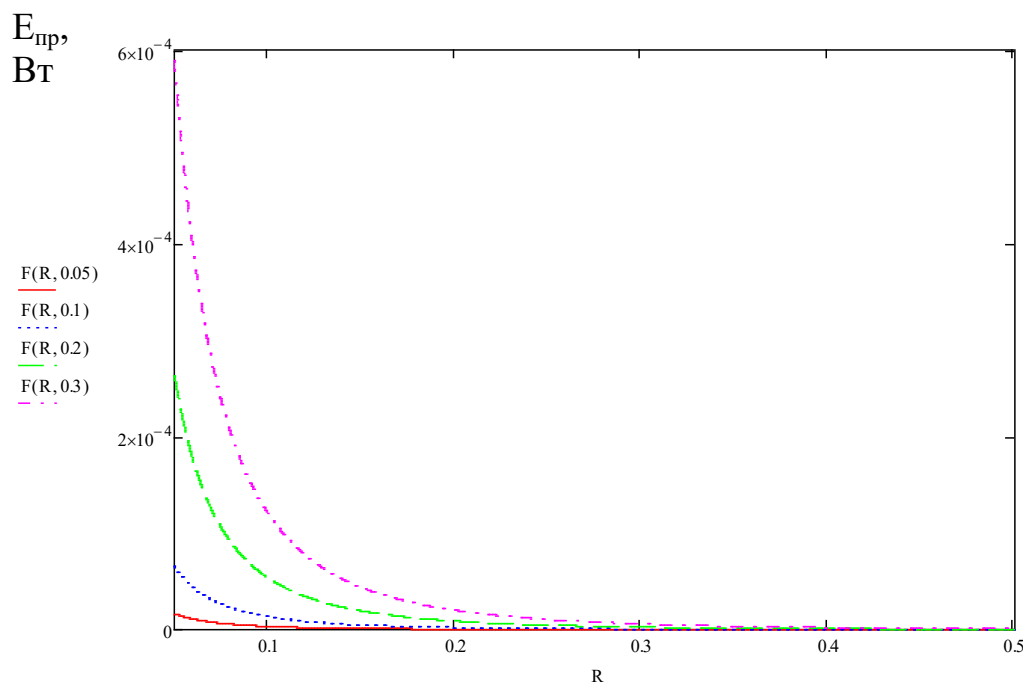


Рисунок 3.8 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), діаметру приймального об'єктиву  $D_{пр1} = 0,05$  м,  $D_{пр2} = 0,1$  м,  $D_{пр3} = 0,2$  м,  $D_{пр4} = 0,3$  м, для робочої довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,53$  мкм.



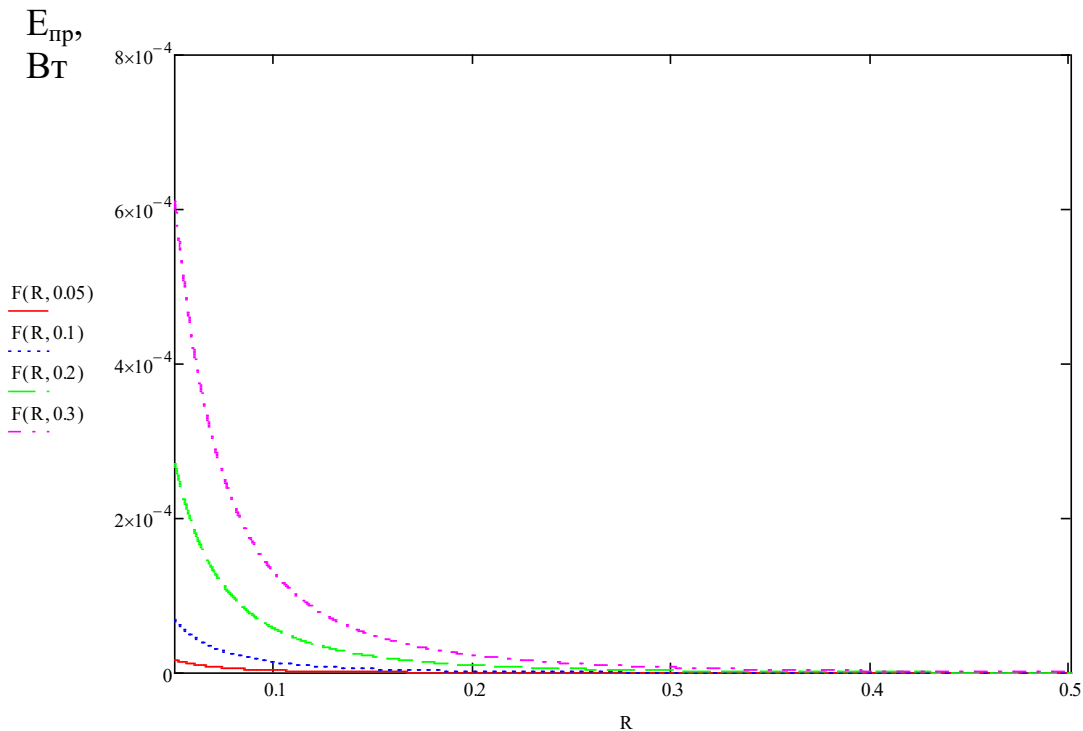


Рисунок 3.9 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), діаметру приймального об’єктиву  $D_{пр1} = 0,05$  м,  $D_{пр2} = 0,1$  м,  $D_{пр3} = 0,2$  м,  $D_{пр4} = 0,3$  м, для робочої довжини хвилі  $\lambda_2 = 0,69$  мкм.

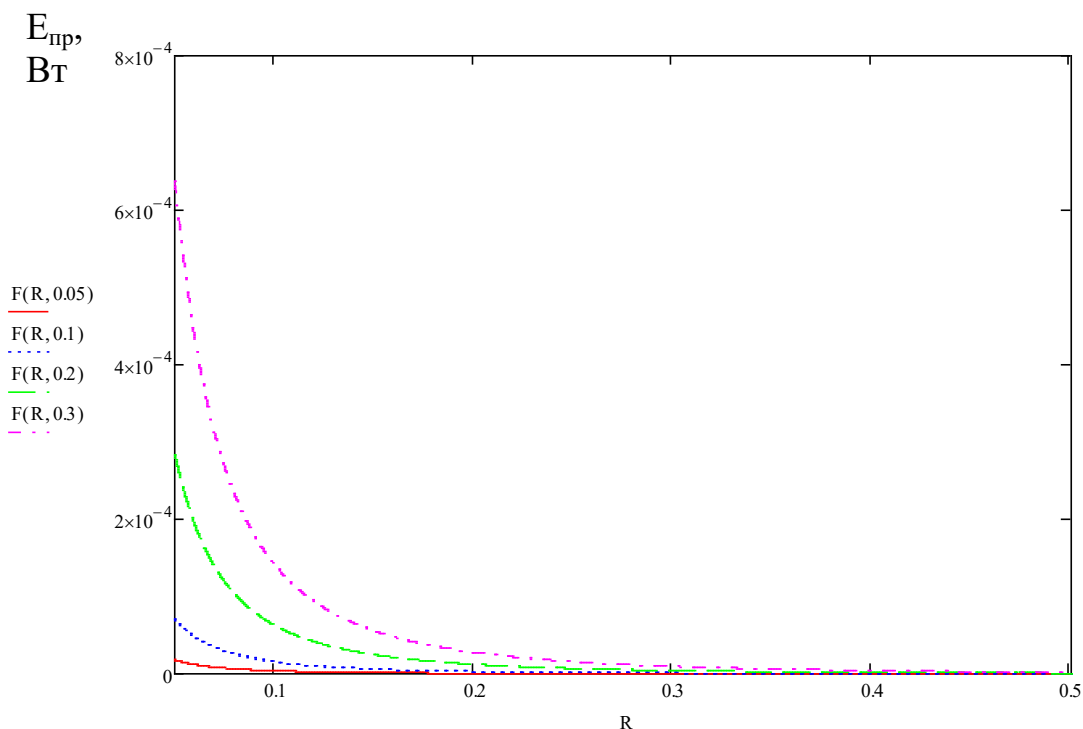


Рисунок 3.10 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), діаметру приймального об’єктиву  $D_{пр1} = 0,05$  м,  $D_{пр2} = 0,1$  м,  $D_{пр3} = 0,2$  м,  $D_{пр4} = 0,3$  м, для робочої довжини хвилі  $\lambda_3 = 1,06$  мкм.

З наведених результатів випливає (рис. 3.8-3.10), що потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) суттєво залежить від діаметру приймального об'єктиву оптичної системи. Цілком природно, що з ростом діаметра приймального об'єктиву знижуються вимоги щодо чутливості фото приймального пристрою. Однак, разом з тим, зростають масогабаритні характеристики БПЛА та їх вартість. Для потреб БПЛА, які використовуються для розвідки осередку надзвичайної ситуації, доцільно застосовувати оптичні системи з діаметром до 0,1 м, що обумовлено розмірами об'єктів моніторингу (цілі).

У той же час, робоча довжина хвилі лазера підсвічування далекоміра-висотоміра на потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) впливає не суттєво.

### **3.3. Залежність потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), потужності зондуючого сигналу та робочої довжини хвилі**

Вивчення залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ) розраховували за формулою 3.1.

Розрахунки проводилися для лазерного пристрою з діаметром приймального об'єктиву ( $D_{\text{пр}} = 0,3$  м) в умовах дуже сильної димки ( $V_2 = 2$  км).

Результати розрахунків для різних робочих довжин хвиль  $\lambda_1$ - $\lambda_3$  та потужності зондуючого сигналу  $E_0$  (від 0,05 до 0,3 м) представлені у вигляді графіків на рис.3.11-3.13.

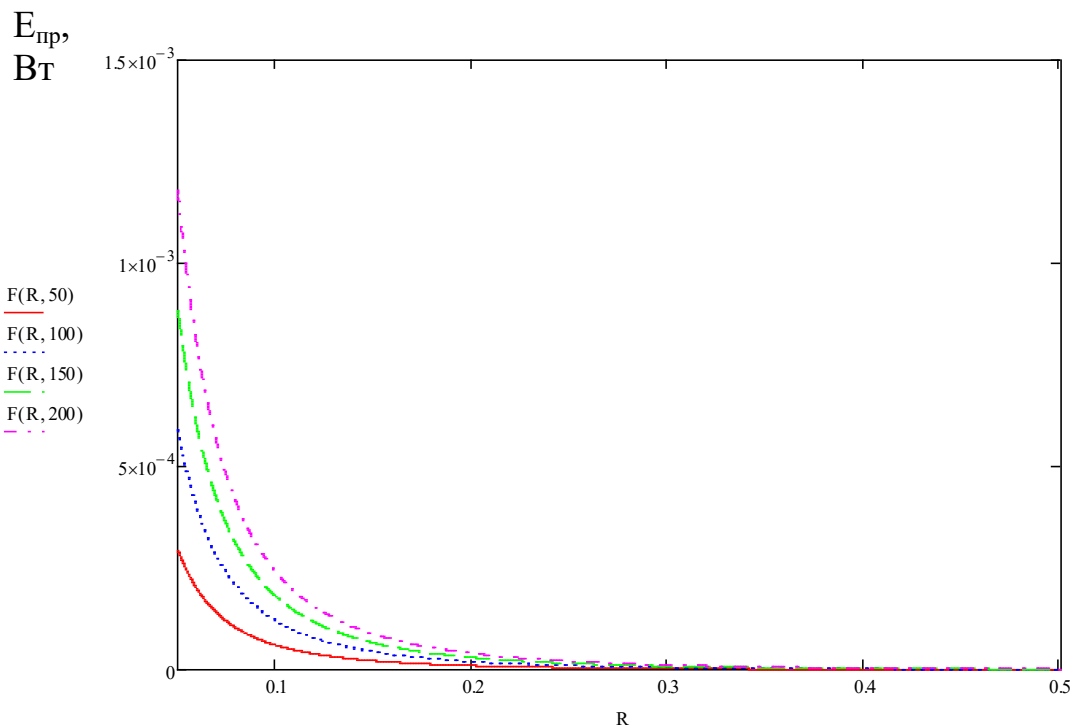


Рисунок 3.11 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), потужності зонduючого сигналу  $E_{01} = 50$  Вт,  $E_{02} = 100$  Вт,  $E_{03} = 150$  Вт,  $E_{04} = 200$  Вт, для робочої довжини хвилі  $\lambda_1 = 0,53$  мкм.

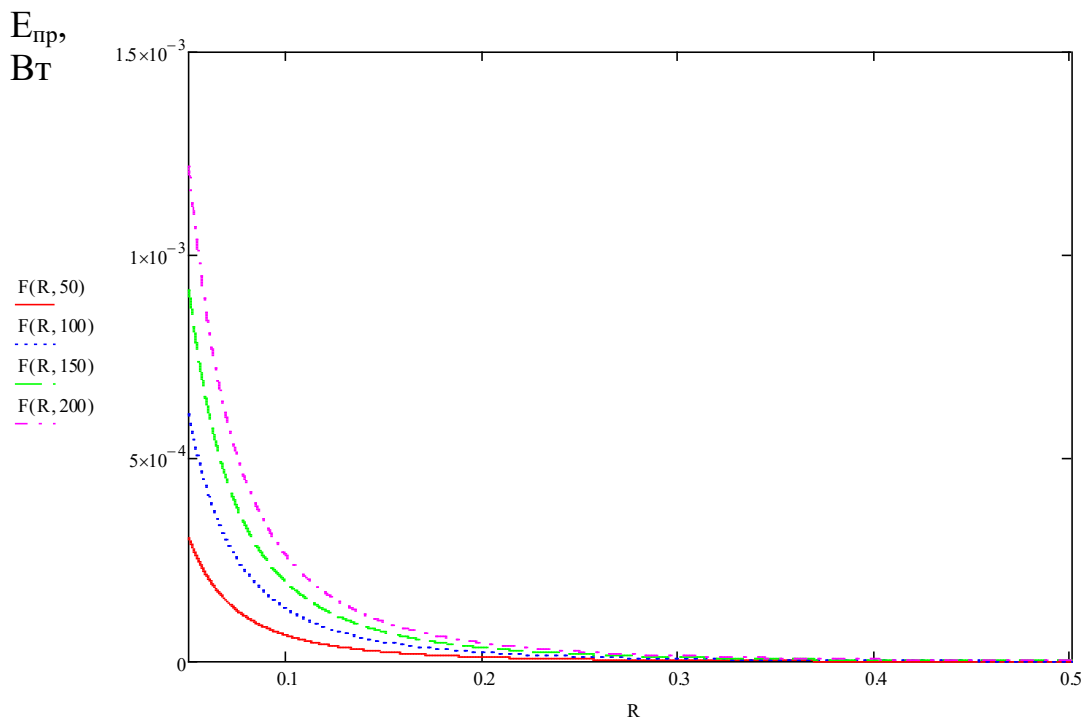


Рисунок 3.12 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), потужності зонduючого сигналу  $E_{01} = 50$  Вт,  $E_{02} = 100$  Вт,  $E_{03} = 150$  Вт,  $E_{04} = 200$  Вт, для робочої довжини хвилі  $\lambda_2 = 0,69$  мкм.

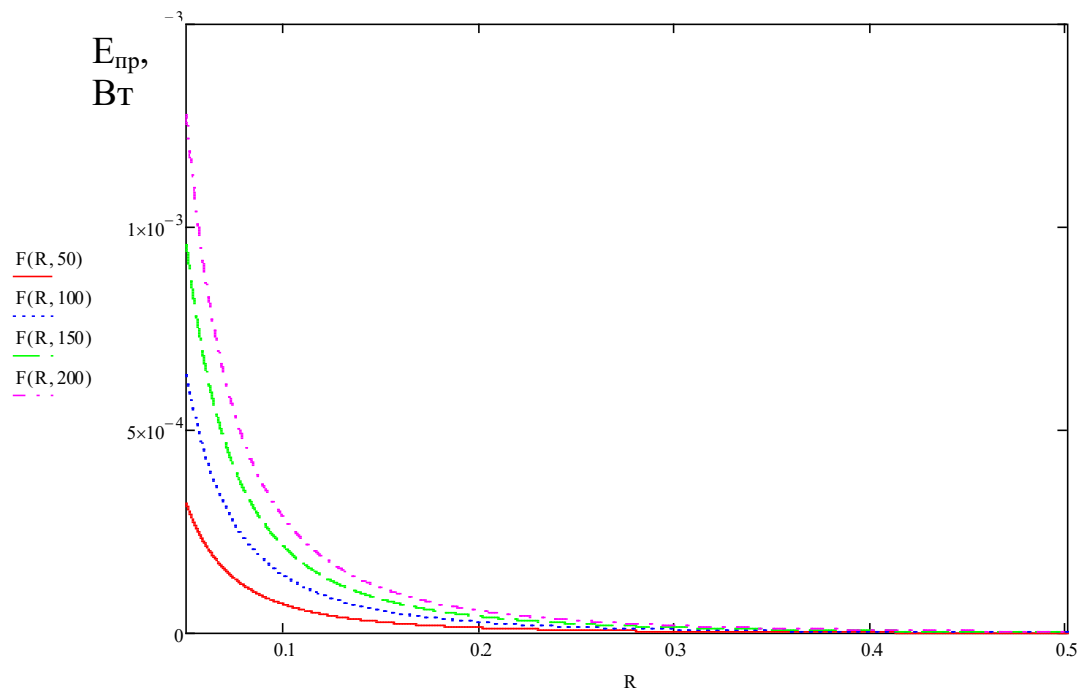


Рисунок 3.13 – Залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), потужності зондуючого сигналу  $E_{01} = 50$  Вт,  $E_{02} = 100$  Вт,  $E_{03} = 150$  Вт,  $E_{03} = 200$  Вт, для робочої довжини хвилі  $\lambda_3 = 1,06$  мкм.

Проведений аналіз залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{пр}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), потужності зондуючого сигналу і робочої довжини хвилі (рис. 3.11-3.13) суттєву його залежність від потужності зондуючого сигналу лазера. З графіків можливо зробити висновки про вимоги щодо потужності випромінювача.

З наведених даних видно, що для потреб Державної служби України з надзвичайних ситуацій достатньо використовувати висотоміри-далекоміри з лазером потужністю в межах десятків Вт для усіх довжин хвиль за умови, що ці довжини хвиль потрапляють у вікно прозорості.

## Висновки

В роботі наведено аналіз особливостей застосування безпілотних літальних апаратів для потреб Державної служби України з надзвичайних ситуацій.

Проведено дослідження впливу зовнішніх факторів та технічних характеристик на потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою далекоміра-висотоміра.

Встановлено, що потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) значно залежить від погодних умов в діапазоні метеорологічної дальності видимості до 2 км. Починаючи зі значень метеорологічної дальності видимості від 10 км і вище потужність сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою змінюється не суттєво. Аналіз отриманих даних показує, що в умовах помірної видимості (слабкого туману) доцільно використовувати лазерні далекоміри-висотоміри з більшою довжиною хвиль (нижчих частот).

Встановлено, що потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) також залежить від діаметру приймального об'єктиву оптичної системи. Цілком природно, що з ростом діаметра приймального об'єктиву знижуються вимоги щодо чутливості фото приймального пристрою. Однак, разом з тим, зростають масогабаритні характеристики БПЛА та їх вартість. Для потреб БПЛА, які використовуються для розвідки осередку надзвичайної ситуації, доцільно застосовувати оптичні системи з діаметром до 0,1 м, що обумовлено розмірами об'єктів моніторингу (цілі).

У той же час, робоча довжина хвилі лазера підсвічування далекоміра-висотоміра на потужність сигналу, який надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) впливає не суттєво.

Проведений аналіз залежності потужності сигналу, що надходить на робочу площадку чутливого елемента фотоприймального пристрою ( $E_{\text{пр}}$ ) від дальності до цілі ( $R$ ), потужності зонduючого сигналу і робочої довжини хвилі суттєву його залежність від потужності зонduючого сигналу лазера.

Встановлено, що для потреб Державної служби України з надзвичайних ситуацій достатньо використовувати висотоміри-далекоміри з лазером потужністю в межах десятків Вт для усіх довжин хвиль за умови, що ці довжини хвиль потрапляють у вікно прозорості.

## Список джерел та літератури

1. Використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу надзвичайних ситуацій у лісовій місцевості / Лаврівський М.З., Тур Н.Є. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2015. –Т.25. – №8.. – с. 353-359.
2. Розвиток безпілотних літальних апаратів в Україні та світі для виконання завдань цивільного захисту / Лаврівський М.З., Гаврись А.П. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2017. –Т.27. – №1. – с. 151-153.
3. Аналіз можливостей застосування безпілотних літальних апаратів для аерознімальних процесів / Глотов В., Гуніна А. // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2014. – №2(28) . – с. 65-70.
4. Проблемы создания беспилотных авиационных комплексов в Украине / Гребеников А.Г., Журавский А.Г., Мяслица А.К. [и др.] // Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии. – 2009. – № 42. – С. 111–119.
5. [https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний\\_літальний\\_апарат](https://uk.wikipedia.org/wiki/Безпілотний_літальний_апарат)
6. Світовий досвід правового регулювання використання безпілотників / Інформаційна довідка, підготовлена Європейським інформаційнодослідницьким центром на запит народного депутата України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: – <http://euinfocenter.rada.gov.ua/uploads/documents/28939.pdf>.
7. Применение беспилотных летательных аппаратов с синфазной антенной решеткой для систем мониторинга пожаров / Нікулін О.Ф., Багров О.С. // Вісник АМУ серія «Техніка». – 2014. – № 1 (7). – С. 113-127.
8. Малогабаритные беспилотные авиационные комплексы (Mini UVS) : [монографія] / В. Г. Башинский, В. Б. Бзот, Е. И. Жилин, А. Н. Катунин, А. Б. Леонтьев; ред.: А. Б. Леонтьев. – Запорожье: Мотор Сич, 2014. – 261 с.
9. Ларюшин А.И. Оптоэлектроника в промышленности и медицине. Казань: Абак, 1997. – 478 с.

10. Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М. Основы импульсной лазерной локации. Учебное пособие. М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 512 с.
11. Балашов И.Ф. Энергетическая оценка импульсных лазерных дальномеров (Пособие по методике инженерного расчета). –СПбГИТМО, 2000. – 19 с.
12. Малашин М.С., Каминский Р.П., Борисов Ю.Б. Основы проектирования лазерных локационных систем: Учеб. пособие для радиотехн. спец. Вузов. – М.: Высш. Школа, 1983. – 207 с.
13. Ермаков Б.А., Возницкий М.В. Получение и обработка информации в импульсных лазерных дальномерях. Л.: Оптический журнал, №10, 1993. – с. 15-32.
14. ДСТУ 4091-2001. Авіаційна метеорологія. Терміни та визначення основних понять.
15. Грузевич Ю.К. Оптико-электронные приборы ночного видения – М.: Физматлит, 2014. — 276 с.