



Таргонский Максим Игоревич
Курсант учреждения образования «ВАРБ»

Максим Игоревич Таргонский
студент Военной академии
Военно-воздушной инженерной
технологии «ВАРБ»

ФАКТОРЫ, ОБУСЛАВЛИВАЮЩИЕ РАСХОДИМОСТЬ ЛУЧА ЛАЗЕРА В СИСТЕМАХ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БЛА

العوامل التي تحدد اختلافاً شعاع الليزر في أنظمة الطائرات بدون طيار

Аннотация: Рассмотрены факторы, обуславливающие расходимость луча лазера, предназначенного для защиты от БЛА; приведен оценочный расчет угловой расходимости лазерного пучка за счет, его дифракционной расходимости, дрожания и атмосферной турбулентности.

Ключевые слова: Беспилотный летательный аппарат, лазерный луч, оптическое качество излучения, угловая расходимость лазерного луча.

الخلاصة: يتم أخذ العوامل التي تحدد انحراف شعاع الليزر المخصص للحماية ضد الطائرات بدون طيار في الاعتبار؛ يتم إعطاء حساب تقديري للتباعد الزاوي لشعاع الليزر بسبب تباعد الحيود والاهتزاز والاضطراب الجوي. الكلمات المفتاحية: طائرة بدون طيار، شعاع الليزر، الجودة البصرية للإشعاع، التباعد الزاوي لشعاع الليزر.

العلمية
المدى
المدى



Ивашченко Инга Анатольевна
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой физики и инженерных дисциплин УО «ВАРБ»

د. إنجا أنتوليفنا إيفاشينكو
رئيس قسم رئيس قسم الفيزياء والتخصصات الهندسية العامة في الأكاديمية العسكرية لجمهورية بيلاروسيا

Введение

Разработка методов и средств противодействия беспилотным летательным аппаратам (БЛА), является чрезвычайно актуальной задачей. Одним из перспективных способов борьбы с БЛА является применение боевых лазерных установок. О применении лазерных средств для поражения БЛА в реальном бою данные практически отсутствуют, однако в средствах массовой информации имеются многочисленные сведения об их разработке и об успешном поражении БЛА в тестовых испытаниях лазерного оружия. Цель доклада – провести анализ и численную оценку факторов, влияющих на расходимость лазерного луча, снижающих эффективность поражения БЛА с помощью лазеров.

نتائج المناقشة

Облучение БЛА лазерным лучом приводит к тепловому воздействию, что вызывает сильный нагрев, прожигание, воспламенение корпуса дрона, нарушению работы электронных систем, нарушению его механической целостности и т.п., и в результате – неконтролируемому изменению траектории полета и нейтрализации БЛА.

Степень воздействия лазерного излучения на цель определяется плотностью потока электромагнитного излучения (ЭМИ), поглощаемого поверхностью цели, которая определяется мощностью самого источника лазерного излучения и степенью направленности луча.

Высокая направленность (узость и малая расходимость) луча позволяет с помощью соответствующих оптических устройств концентрировать энергию лазера в очень узком телесном угле, что при сравнительно небольшой энергии излучения на выходе оптической системы даже на больших расстояниях до цели формирует ЭМИ с плотностью энергии, достаточной для достижения эффекта функционального поражения объекта воздействия на значительных расстояниях – около 10 км [1].

Величина угловой расходимости лазерного луча определяет диаметр пятна на цели и, следовательно, плотность мощности, определяющей результат воздействия излучения на БЛА и возможности лазерной системы как оружия направленного действия.

Угловая расходимость θ лазерного излучения определяется углом дифракционной расходимости луча θ_D [рад]; углом расходимости θ_r [рад], связанной с дрожанием луча относительно линии юстировки; углом расходимости θ_T [рад], вызванной атмосферной турбулентностью; параметром, описывающим оптическое качество излучения M^2 [2]:

$$\theta^2 = (\theta_D^2 + \theta_r^2)M^2 + \theta_T^2$$

Дифракционную расходимость идеального гауссова лазерного пучка с плоским фронтом определяют по формуле:

$$\theta_D = 1,27(\lambda/d)$$

где λ [м] – длина волны излучения; d [м] – диаметр выходной апертуры лазерной системы.

Оптическое качество излучения показывает, насколько близко реальное значение M^2 к теоретическому пределу $M^2 = 1$. Для ряда лазеров (химические, твердотельные, волоконные и др.) достигнуты значения качества луча 1,1–1,4. Расходимость, обусловленная турбулентностью, оценивается формулой [3]:

$$\theta_T = 2 \cdot 2,016\lambda^{-0,2} (C_n^2 L)^{0,6}$$

где L [м] – расстояние до объекта; C_n^2 [м^{-2/3}] – структурная характеристика атмосферы, зависящая от высоты, времени суток и географического положения. Для средних атмосферных условий вблизи поверхности Земли $10^{-15} < C_n^2 < 10^{-14}$ [м^{-2/3}] [3]. Практически невозможно предсказать турбулентность в конкретной точке пространства из-за ее нелинейного характера, поэтому используют статистический подход для оценки общего воздействия турбулентности в макроскопическом масштабе [3].

Дрожание луча относительно линии юстировки показывает изменение углового положения луча относительно одной оси; считается одинаковым для любой поперечной оси.

Для получения наилучших характеристик лазера угол расходимости θ_r , связанной с дрожанием луча, должен составлять не более трети дифракционного угла [3], т. е.

$$\theta_r = 0,33\theta_D$$

Проведен оценочный расчет угла расходимости лазерного луча за счет указанных факторов. При расчетах использовались исходные данные: диаметр выходной апертуры лазерной системы $d = 5$ мм; расстояние до цели $L = 1$ км; длина волны лазерного излучения $\lambda = 532$ нм; структурная характеристика атмосферы $C_n^2 = 10^{-15}$ м^{-2/3}; оптическое качество излучения $M^2 = 1,5$.

В результате расчетов получены значения углов расходимости: угол дифракционной расходимости луча $\theta_D \approx 135$ мкрад; угол расходимости луча за счет дрожания $\theta_r \approx 45$ мкрад; угол расходимости, вызванной атмосферной турбулентностью $\theta_T \approx 4,66$ мкрад. Суммарная угловая расходимость лазерного излучения (без применения фокусирующих систем) составляет $\theta \approx 0,17$ мрад, что приводит к уширению диаметра пятна лазера на цели примерно до 0,35 м.

Заключение

Таким образом, проведен анализ факторов, обуславливающих расходимость лазерного луча на трассе от источника до цели, и ориентировочный расчет величины угловой расходимости луча, что позволяет с учетом влияния других факторов оценить в дальнейшем энергию, поглощаемую корпусом БЛА, и возможность его функционального поражения.

المقدمة

يواجه هندسة الراديو الحديثة مطالب متزايدة فيما يتعلق بالسرعة والدقة في معالجة البيانات، مما يجعل الأساليب المبتكرة ضرورية. يقدم علم الراديو فوتونيات، الذي يجمع بين مبادئ هندسة الراديو والإلكترونيات البصرية، حلاً جديداً لزيادة كفاءة أنظمة الرادار. يسمح هذا الاتجاه باستخدام الإشارات الضوئية لنقل المعلومات، مما يزيد بشكل كبير من السرعة ونطاق التشغيل. يفتح إدخال تقنيات الراديو فوتونيك في الرادار إمكانية تحسين دقة الكشف وتقليل مستويات الضوضاء. تهدف هذه المراجعة إلى تحليل دور فوتونيات الراديو في مستقبل الهندسة الراديو وتأثيرها على تطوير أنظمة الرادار. وتتم مناقشة الفوائد الرئيسية والتحديات المحتملة المرتبطة بدمج هذه التقنيات.

يؤدي تشعيع طائرة بدون طيار بشعاع الليزر إلى تأثيرات حرارية، مما يسبب تسخيناً قوياً وحرقاً واشتعال جسم الطائرة بدون طيار وتعطيل الأنظمة الإلكترونية وإلحاق الضرر بسلاستها الميكانيكية وما إلى ذلك، ونتيجة لذلك - إلى تغيير غير منضبط في مسار الرحلة وتحييد الطائرة بدون طيار.

يتم تحديد درجة تأثير إشعاع الليزر على الهدف من خلال كثافة تدفق الإشعاع الكهرومغناطيسي (EMR) الذي يمتصه سطح الهدف، والذي يتم تحديده من خلال قوة مصدر إشعاع الليزر نفسه ودرجة اتجاه الشعاع.

تسمح الاتجاهية العالية (الضيق والتباعد المنخفض) للشعاع، بمساعدة الأجهزة البصرية المناسبة، بتركيز طاقة الليزر في زاوية صلبة ضيقة للغاية، والتي، مع طاقة إشعاع منخفضة نسبياً عند مخرج النظام البصري، حتى على مسافات كبيرة من الهدف، تشكل تداخل كهرومغناطيسي بكثافة طاقة كافية لتحقيق تأثير الضرر الوظيفي للهدف على مسافات كبيرة - حوالي 10 كم [1].

تحدد قيمة التباعد الزاوي لشعاع الليزر قطر البقعة على الهدف، وبالتالي كثافة الطاقة، والتي تحدد نتيجة تأثير الإشعاع على الطائرة بدون طيار وقدرات نظام الليزر كسلاح موجه.

يتم تحديد التباعد الزاوي θ لإشعاع الليزر من خلال زاوية تباعد الحيود للشعاع θ_D [راد]؛ زاوية التباعد θ_r [راد] المرتبطة باهتزاز الشعاع بالنسبة لخط المحاذاة؛ زاوية التباعد θ_T [راديان] الناجمة عن الاضطرابات الجوية؛ المعلمة التي تصف الجودة البصرية للإشعاع M^2 [2]:

يتم تحديد التباعد الحيودي لشعاع الليزر الغاوسي المثالي ذو الجبهة المسطحة بالصيغة التالية:

حيث λ [م] هو طول موجة الإشعاع؛ d [م] – قطر فتحة الإخراج لنظام الليزر.

تُظهر الجودة البصرية للإشعاع مدى قرب القيمة الفعلية من الحد النظري $M^2 = 1$. بالنسبة لعدد من الليزر (الكيميائي، الحالة الصلبة، الألياف، إلخ)، تم تحقيق قيم جودة الشعاع 1.1-1.4. يتم تقدير التباعد الناتج عن الاضطرابات بالصيغة [3]:

حيث L [م] هي المسافة إلى الجسم؛ C_n^2 [م^{-2/3}] هي خاصية بنوية للغلاف الجوي تعتمد على الارتفاع والوقت من اليوم والموقع الجغرافي. بالنسبة للظروف الجوية المتوسطة بالقرب من سطح الأرض $10^{-15} < C_n^2 < 10^{-14}$ [م^{-2/3}] [3]. من المستحيل تقريباً التنبؤ بالاضطرابات عند نقطة محددة في الفضاء بسبب طبيعتها غير الخطية، لذلك يتم استخدام نهج إحصائي لتقدير التأثير الكلي للاضطرابات على نطاق واسع [3].

يشير اهتزاز الشعاع بالنسبة لخط المحاذاة إلى حدوث تغيير في الموضع الزاوي للشعاع بالنسبة لمحور واحد؛ ويعتبر الأمر نفسه بالنسبة لأي محور عرضي.

للحصول على أفضل أداء لليزر، يجب ألا تزيد زاوية تباعد اهتزاز الشعاع عن ثلث زاوية الانعراج [3]، الخ

تم إجراء حساب تقديري لزاوية تباعد شعاع الليزر بسبب العوامل المشار إليها. تم استخدام البيانات الأولية التالية في الحسابات: قطر فتحة الإخراج لنظام الليزر $d = 5$ مم؛ المسافة إلى الهدف $L = 1$ كم؛ طول موجة إشعاع الليزر $\lambda = 532$ نانومتر؛ الخاصية البنوية للغلاف الجوي $C_n^2 = 10^{-15}$ م^{-2/3}؛ الجودة البصرية للإشعاع $M^2 = 1,5$.

وبنتيجة الحسابات تم الحصول على القيم التالية لزاوية التباعد: زاوية التباعد الحيودي للشعاع هي $\theta_D \approx 135$ ميكروراد؛ زاوية تباعد الشعاع بسبب الاهتزاز $\theta_r \approx 45$ ميكروراد؛ زاوية التباعد الناتجة عن الاضطرابات الجوية هي $\theta_T \approx 4,66$ ميكروراد. يبلغ التباعد الزاوي الإجمالي لإشعاع الليزر (بدون استخدام أنظمة التركيز) $\theta \approx 0,17$ mrad، مما يؤدي إلى توسيع قطر بقعة الليزر على الهدف إلى ما يقرب من 0,35 م.

الخاتمة

وبالتالي، تم إجراء تحليل للعوامل التي تحدد انحراف شعاع الليزر على المسار من المصدر إلى الهدف، وتم إجراء حساب تقريبي لحجم الانحراف الزاوي للشعاع، مما يسمح، مع الأخذ في الاعتبار تأثير العوامل الأخرى، بتقدير الطاقة التي يمتصها جسم الطائرة بدون طيار وإمكانية حدوث ضرر وظيفي لها.

المراجع والمصادر

1. Макаренко С. И. Противодействие беспилотным летательным аппаратам. Монография. – СПб.: Научно-технические технологии, 2020. – 204 с.
2. Борейшо А. С., Ивакин С. В. Лазеры: устройство и действие: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2016. — 304 с.
3. Lionis A. "Experimental design of aUCAV-based high-energy laser weapon" Master's thesis, Naval Postgraduate School. = 2016.