

**ЛЕВИЦЬКИЙ Сергій**

*к.т.н., ст. дослідник,*

**МІНАКОВ Володимир**

*к.т.н.,*

**ТАРАНОВ Віктор**

*к.т.н.,*

*Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова*

*Національної академії наук України (Київ, Україна)*

## **ЛАЗЕРНІ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОТИДІЇ ДРОНАМ «ШАХЕД»**

Сучасна війна характеризується масовим застосуванням недорогих безпілотних літальних апаратів (БПЛА) типу «Шахед», що становлять серйозну загрозу для цивільної та військової інфраструктури. Ефективна протидія цим цілям вимагає інноваційних підходів, серед яких перспективним є використання високоенергетичних лазерних систем (ВЛЗ). У даній роботі досліджується концепція розміщення лазерної зброї на безпілотних платформах для створення мобільного та ефективного засобу протидії дронам-камікадзе.

**Аналіз цілі.** Дрони «Шахед-136/Герань-2» мають низьку швидкість польоту (180-250 км/год), обмежену маневреність та прямолінійну траєкторію, що робить їх ідеальними мішенями для лазерного впливу, який вимагає тривалого утримання променя на цілі. Корпус виконаний з вуглепластикового композиту (CFRP), що має низьку теплопровідність смоляної матриці (близько 0,2 Вт/(м·К)). Під дією концентрованого лазерного випромінювання швидко відбувається піроліз смоли (при ~500 °С), розшарування структури та втрата міцності, що призводить до руйнування крил, двигуна або паливного бака. Чорне покриття, призначене для зниження видимості, додатково підвищує поглинання лазерної енергії в інфрачервоному діапазоні.

**Вибір лазерної технології.** Для бортового застосування на БПЛА оптимальним визнано волоконний лазер. Він характеризується найкращим співвідношенням потужності, ваги та габаритів (SWaP), високою

енергоефективністю, відмінною якістю променя та надійністю. Рекомендована довжина хвилі – 1064 нм (ближній ІЧ-діапазон), що є компромісом між доступністю високих потужностей та ефективністю абляції вуглепластику. Для гарантованого ураження цілі на тактичних дистанціях (кілька кілометрів) за час менше 5 секунд необхідна вихідна потужність системи на рівні 100 кВт (безперервний режим). Порогове значення щільності потужності для пошкодження CFRP становить близько 100 Вт/см<sup>2</sup>.

**Вимоги до платформи-носія.** Маса лазерного модуля потужністю 50 кВт разом із системою управління променем, охолодження та енергопостачання може перевищувати 300-350 кг. Отже, розглянемо один із варіантів розміщення на роботизованій наземній платформі або, автоплатформі, яка зможе нести на собі відповідну масу та габарити. В подальшому можливі і концепції розміщення на важкий БПЛА класу «heavy-lift» з максимальним корисним навантаженням понад 200 кг, такий як GRIFF Aviation 300 або аналогічні платформи. Критично важливим є забезпечення стабільності платформи для точної стабілізації лазерного променя та інтеграція ефективних систем віброізоляції.

**Енергетична система та термоменеджмент.** Лазерна система потребує значно більше електричної потужності, ніж її вихідна оптична потужність (коефіцієнт перетворення до 24 %, решта енергії перетворюється на тепло). Для живлення пропонується гібридна система: протонно-обмінні мембранні (PEM) паливні елементи на водні для забезпечення тривалої автономності, доповнені літій-іонними акумуляторами високої потужності для покриття пікових навантажень під час пострілу. Управління теплом є найважливішою інженерною задачею. Рекомендовано використання рідинної системи охолодження із замкнутим контуром на базі мікроканалних теплообмінників та матеріалів зі зміною фази (PCM) для поглинання пікових теплових навантажень.

**Система виявлення та наведення.** Ефективність протидії ролям «Шахедів» неможлива без повної автоматизації циклу «виявити-відстежити-знищити». Система повинна включати радар для первинного виявлення, інфрачервоні сенсори та камери для відстеження, лазерний далекомір. Ключову роль відіграє інтеграція штучного інтелекту (ШІ), здатного в реальному часі

ідентифікувати тип дрона, визначати його орієнтацію та найбільш вразливі точки для прицілювання (двигун, крило, паливний бак, антена). Управління променем має здійснюватися за допомогою високоточного наведення за рахунок швидкодіючих дзеркал та адаптивної оптики для компенсації атмосферних спотворень .

**Операційні виклики та перспективи.** Основними викликами є вплив атмосферних умов (дощ, туман, пил) на ослаблення променя, пряма видимість цілі, логістика палива (водню) та загальна складність інтеграції високонавантаженої системи на БПЛА. Однак низька вартість одного пострілу (порівняно з ракетами), практично необмежений «боєзапас», висока точність і мінімальні супутні ушкодження роблять бортові лазерні системи надзвичайно перспективними. Вони можуть стати ключовим елементом багат шарової системи протиповітряної оборони, ефективно доповнюючи кінетичні та радіоелектронні засоби для боротьби з масовими атаками дронів.

**Висновок.** Техніко-тактичний аналіз підтверджує принципову можливість та високу доцільність створення мобільної лазерної системи протидії дронам «Шахед» на базі важкого БПЛА або НРК. Реалізація такого комплексу потребує ефективних CO<sub>2</sub> та волоконних лазерів, гібридних енергетичних систем, адаптивної оптики . Успішна розробка та виготовлення вже завтра - це реальний захист критичної інфраструктури від загрози безпілотних засобів ураження.