



В. П. Городнов



В. Г. Малюга



О. М. Головань



С. М. Суконько

## МОДЕЛЬ ПРОТИДІЇ БЕЗПЛОТНИМ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТАМ СИЛАМИ ТА ЗАСОБАМИ ВІЙСЬКОВИХ ЧАСТИН З ОХОРОНИ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

*Розроблено модель протидії безпілотним літальним апаратам, у якій оцінюються ймовірність виявлення, а також за допомогою системи масового обслуговування з очікуванням і покиданням черги – ймовірність знищення безпілотних літальних апаратів, що може допомогти командуванню військових частин з охорони атомних електростанцій приймати обґрунтовані рішення щодо побудови системи протидії безпілотним літальним апаратам.*

**Ключові слова:** *безпілотні літальні апарати, військові частини з охорони атомних електростанцій, система протидії безпілотним літальним апаратам, система масового обслуговування.*

**Постановка проблеми.** Події, які відбулися протягом 2016 – 2018 років в Україні та Сирії [1–4], свідчать, що останнім часом збільшилася кількість випадків ураження злочинцями важливих державних чи військових об'єктів з використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА), під якими розуміються такі літальні апарати, що не мають екіпажу, оснащені двигуном, піднімаються у повітря за рахунок аеродинамічних сил і діють в автономному режимі за програмою або керовані дистанційно оператором, здатні нести вантаж вибухової дії (ударні БПЛА) або апаратуру розвідки (розвідувальні БПЛА) [5]. У відомих наукових працях [6, 7, 8] безпілотні літальні апарати залежно від їх маси та розмірів поділяють на малогабаритні, маса яких може бути від кількох грамів до 50 кг, та великогабаритні з масою більше 50 кг.

Завдання з прикриття атомних електростанцій (АЕС) у повітряному просторі покладено на сили і засоби зенітних ракетних військ Збройних Сил України (ЗС України) [9], які здебільшого розраховані на знищення великогабаритних БПЛА на великих відстанях. Однак у разі використання злочинцями (терористичними групами) малогабаритних БПЛА на невеликих відстанях від атомної електростанції з метою розвідки території АЕС за допомогою розвідувального БПЛА або пошкодження життєво важливих центрів станції ударним БПЛА засоби зенітних

ракетних військ ЗС України можуть бути не ефективними. Тому військовим частинам з охорони атомних електростанцій, які виділяються від Національної гвардії України (НГУ), необхідно мати свою систему протидії безпілотним літальним апаратам.

Під час побудови такої системи перед введенням її у дію необхідно оцінювати можливості виконання системою завдань з протидії безпілотним літальним апаратам з урахуванням багатьох чинників та параметрів, що породжує проблему такого оцінювання. Вирішенням проблеми може бути розроблення моделі протидії безпілотним літальним апаратам силами та засобами військових частин з охорони АЕС.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Є велика кількість наукових праць, в яких розглядаються питання стосовно зенітного ракетного прикриття важливих державних об'єктів та боротьби з БПЛА, серед яких більш близькими до визначеного завдання є такі, як [10–15]. Так, у статті [10] запропоновано комплексну методика вибору доцільних варіантів прикриття важливих державних об'єктів в операції (бойових діях), яка базується на вдосконалених існуючих методиках планування та оцінювання ефективності застосування різнорідних сил і засобів зенітних ракетних військ ЗС України.

У статтях [11, 12] розглянуто показники ефективності зенітного ракетного прикриття

важливих державних об'єктів угрупованням змішаного складу зенітних ракетних військ. У праці [13] у ході аналізу використання коефіцієнтної методики для розв'язання стандартної задачі з оцінювання ефективності угруповання зенітних ракетних військ було встановлено, що визначена методика має недоліки щодо врахування удару повітряного противника, а це, своєю чергою, може призвести до помилок під час оцінювання ефективності угруповання зенітних ракетних військ.

У монографії [14] систематизовано методи математичного моделювання й оцінювання ефективності бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційного забезпечення процесів управління ними.

У статті [15] визначено види безпілотних апаратів, загальні способи їх застосування та боротьби з ними.

У працях [10–15] основну увагу зосереджено на ефективності дій угруповань зенітних ракетних військ ЗС України, структура та організація несення служби яких значно відрізняється від порядку несення служби силами та засобами військових частин з охорони атомних електростанцій, що зумовило необхідність пошуку іншого підходу до розв'язання задачі з оцінювання можливостей системи протидії безпілотним літальним апаратам.

**Метою статті** є розроблення моделі протидії безпілотним літальним апаратам силами та засобами військових частин з охорони атомних електростанцій.

**Виклад основного матеріалу.** Основною загрозою для атомної електростанції, окрім аварії на об'єкті, є захоплення АЕС чи її життєвоважливих центрів озброєними злочинцями (терористично-диверсійною групою) або скоєння ними диверсій, що можуть призвести до радіаційної аварії чи зупинки роботи станції. Швидкий розвиток у створенні малогабаритних безпілотних літальних апаратів невійськового призначення та легкодоступність їх придбання сприяють можливості застосування БПЛА озброєними злочинцями у своїх цілях щодо АЕС [5], а саме для проведення розвідки території атомної електростанції або пошкодження її життєво важливих центрів.

Завдання з охорони та оборони атомних електростанцій виконують військові частини Національної гвардії України, особовий склад

яких не повинен допустити проведення розвідки дорученого йому об'єкта або будь-яких проявів диверсії, у тому числі з використанням БПЛА. Із цією метою вказаним частинам необхідно мати свою систему протидії безпілотним літальним апаратам, яка повинна забезпечувати:

– своєчасне виявлення безпілотних літальних апаратів;

– знешкодження БПЛА шляхом його знищення засобами протиповітряної оборони або виведення з ладу за допомогою засобу придушення каналів керування (виведення з ладу).

У процесі розроблення моделі використано такі гіпотези та припущення:

1) терористично-диверсійними групами застосовуються поодинокі та групові атаки безпілотних літальних апаратів, а також розвідувальні БПЛА;

2) атаки безпілотних літальних апаратів здійснюються такими способами, як застосування бортової зброї, скидання підривного пристрою та безпосереднє зіткнення з визначеними об'єктами;

3) у разі групової атаки безпілотних літальних апаратів інтервали їх входу у зону поразення цілей засобами протиповітряної оборони випадкові й розподілені показниково, час перебування БПЛА у визначеній зоні випадковий і розподілений показниково;

4) потік безпілотних літальних апаратів є ординарним, і БПЛА є повнодоступними для засобів протиповітряної оборони (ЗПО);

5) бортовою зброєю безпілотного літального апарата є керовані ракети вагою, яка може переноситися БПЛА;

6) оскільки атомні електростанції прикриваються силами та засобами зенітних ракетних військ ЗС України, то висота, за якої безпілотний літальний апарат не буде знищений указаними силами, не перевищує 500 м;

7) спостережні пости оснащені однотипними оптичними та оптико-електронними засобами.

Відповідно до визначених гіпотез та припущень БПЛА є засобом повітряного нападу, який може мати завдання розвідувальні або ударні із застосуванням бортової зброї, дальність дії якої  $D_{\text{зр}}$  може залежати від типу зброї та від висоти  $H_{\text{бпЛА}}$  польоту БПЛА у момент запуску зброї. Завдання протиповітряної оборони військової частини з охорони атомної електростанції полягає у

недопущенні ударів по елементах АЕС та (або) їх розвідки на території АЕС. Тому об'єктом захисту є вся територія атомної електростанції, а об'єктом протиповітряної оборони – увесь простір над територією АЕС, збільшений на  $D_{ур} = f(H_{бпла})$ . Прорив безпілотного літального апарата через указану межу є подією невиконання бойового завдання засобами протиповітряної оборони військової частини з охорони АЕС.

Керовані ракети, які можуть бути бортовою зброєю безпілотного літального апарата, відповідно до технічних характеристик мають мінімальну і максимальну дальність та висоту запуску. Межі зони дальності запуску ракети можна описати за допомогою відомої теореми Піфагора, а саме:

$$D_{гориз} = \sqrt{D_{max(min)}^2 - H_{бпла}^2} \cdot [м] \quad (1)$$

де  $D_{гориз}$  – горизонтальна дальність польоту керованої ракети БПЛА;

$D_{max(min)}$  – максимальна (мінімальна) літна

дальність дії бортової зброї безпілотного літального апарата;

$H_{бпла}$  – висота польоту БПЛА.

Наприклад, якщо максимальна літна дальність ураження цілі типової керованої ракети 3500 м, мінімальна – 400 м [16], а висота БПЛА, який переносить визначену зброю, – 500 м, то, використовуючи вираз (1), отримаємо приблизний типовий вертикальний переріз зони пуску ракети, який (переріз) зображено на рис. 1.

Межа максимальної дальності запуску ракети, яка відповідає дальності дії бортової зброї безпілотного літального апарата  $D_{ур}$ , буде описувати границю зони невиконання бойового завдання засобами протиповітряної оборони військової частини (див. рис. 1).

Своєю чергою, кожен ЗПО має максимальну і мінімальну дальність та висоту поразення повітряних об'єктів і як наслідок – зону поразення цілі (рис. 2)

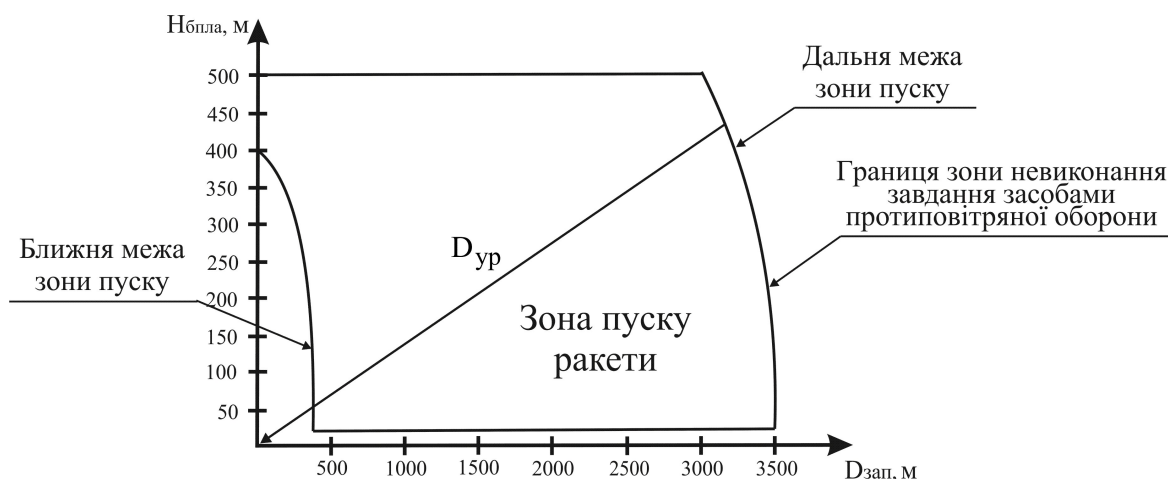


Рис. 1. Типовий варіант вертикального перерізу зони запуску ракети

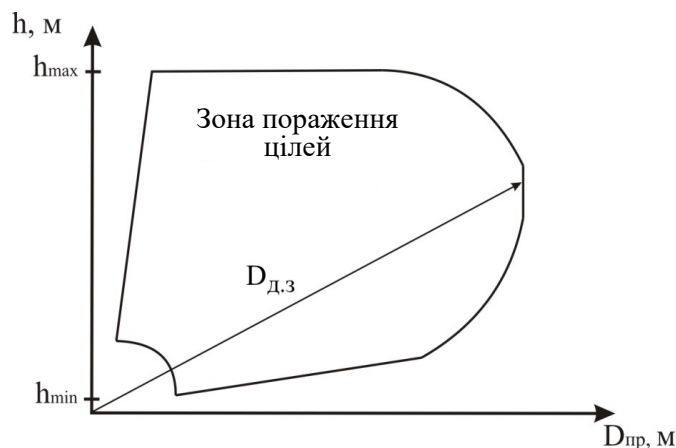


Рис. 2. Типовий вертикальний переріз зони поразення цілей засобами протиповітряної оборони

Відповідно, з метою боротьби з безпілотними літальними апаратами зона поразення цілі засобу протиповітряної оборони повинна бути більше зони невиконання бойового завдання, тобто  $D_{д.з} > D_{ур}$ . Особовому складу розрахунків засобів протиповітряної оборони потрібний час для приведення їх у бойову готовність, пошуку цілі та час на знищення безпілотних літальних апаратів. Тоді відстань від дальньої межі зони поразення цілі, яку (відстань) БПЛА зможе подолати на середній швидкості  $V_{бпла}$  за визначений час, може бути необхідною межею  $D_{виявл}^{необх}$  виявлення БПЛА, і її можна знайти за формулою

$$D_{виявл}^{необх} = D_{д.з} + V_{бпла} \cdot (t_{гот} + t_{зн}), [м], \quad (2)$$

де  $D_{д.з}$  – горизонтальна дальність до дальньої необхідної межі зони поразення (див. рис. 2);

$t_{гот}$  – час для приведення у бойову готовність засобу протиповітряної оборони та пошуку цілі;

$t_{зн}$  – час польоту ракети (кулі) до дальньої необхідної межі зони поразення.

Основними способами виявлення літальних апаратів є радіолокаційна, радіотехнічна та оптико-електронна розвідка [17]. Крім того, на сьогодні створено прилад “AeroScope” для виявлення квадрокоптерів серій PHANTOM™, INSPIRE™, MAVIC™ та SPARK™, для яких відомі параметри сигналів у каналах керування. Однак злочинці можуть використовувати інші види квадрокоптерів або БПЛА з невідомими параметрами сигналів у каналах керування. У працях [8, 17] на основі полігонних випробувань визначено, що з метою виявлення малогабаритних безпілотних літальних апаратів найбільш ефективним є використання оптико-електронних засобів.

У військових частинах з охорони атомних електростанцій засобів радіолокаційної та радіотехнічної розвідки на оснащенні немає, але з метою своєчасного виявлення безпілотних літальних апаратів та боротьби з ними вести спостереження за повітряним простором над територією АЕС можливо за допомогою спостережних постів, особовий

склад яких може бути оснащений оптичними та оптико-електронними засобами, а також засобами цілевказівок (наприклад “Віраж планшетом”) та зв’язку.

Спостереження за повітряним простором необхідно вести постійно. Однак безперервне навантаження на очі спостерігача може призвести до його втоми та неувважності і як наслідок – до невиявлення БПЛА, тому склад спостережного поста повинен бути не менше двох військовослужбовців. Відповідно до [18] поле зору людини досягає  $180^\circ$ , але з використанням приладів спостереження визначене поле може зменшуватися, причому чим більша кратність, тим менше поле зору. Кут поля зору  $\alpha_{п.з}$  спостережного поста можна визначати з урахуванням технічних характеристик засобу спостереження поста. Ураховуючи припущення 5, кількість спостережних постів  $n_{сп.п}$  знайдемо за виразом

$$n_{сп.п} = \frac{360}{\alpha_{п.з}}, \quad (3)$$

де  $\alpha_{п.з}$  – кут поля зору одного спостережного поста.

Оптико-електронні засоби та оптичні прилади, якими можуть бути обладнані спостережні пости, мають максимальні дальності виявлення об’єктів на горизонтальній рівній поверхні. Однак кожний спостережний пост веде спостереження по секторах, рельєф місцевості яких може бути різних типів (рівнинним, горбистим, гірським) і впливати на зменшення максимальної дальності виявлення об’єктів оптико-електронними засобами та оптичними приладами. Визначений вплив рельєфу місцевості можна виразити через коефіцієнт зменшення дальності виявлення з урахуванням впливу рельєфу місцевості відповідно до висоти польоту БПЛА, який (коефіцієнт) визначається за допомогою табличних даних [19].

Тоді фактичну дальність виявлення  $D_{виявл}^{факт}$  безпілотного літального апарата особовим складом спостережного поста можна знайти шляхом добутку максимальної дальності виявлення  $D_{виявл}^{max}$  об’єкта на коефіцієнт зменшення дальності виявлення  $K_{рел}$  з урахуванням впливу рельєфу місцевості зони виявлення БПЛА спостережним постом:

$$D_{\text{асуае}}^{\text{об'єк}} = D_{\text{асуае}}^{\text{max}} \cdot K_{\text{дае}} [i]. \quad (4)$$

Величина максимальної дальності виявлення об'єкта  $D_{\text{виявл}}^{\text{max}}$  визначається технічними характеристиками приладів, зокрема:

– для оптико-електронних засобів

$$D_{\text{виявл}}^{\text{max}} = D_{\text{виявл}}^{\text{тхп}}, \quad (5)$$

де  $D_{\text{асуае}}^{\text{об'єк}}$  – дальність виявлення об'єкта відповідно до технічних характеристик приладів;

– для оптичних приладів

$$D_{\text{виявл}}^{\text{max}} = D_{\text{виявл}}^{\text{люд}} \cdot Y_{\text{сп}}, \quad (6)$$

де  $D_{\text{виявл}}^{\text{люд}}$  – дальність виявлення об'єкта людиною без технічних приладів;

$Y_{\text{сп}}$  – кратність спостережного приладу.

Крім того визначена дальність може обмежуватися дальністю прямої видимості [19]:

$$D_{\text{і.аеа}} = 4,12 \cdot (\sqrt{h_{\text{пі}}} + \sqrt{h_{\text{і.аеа}}}) \cdot 1000 [i], \quad (7)$$

де  $h_{\text{сп}}$  – відстань від земної поверхні до ока спостерігача;

$h_{\text{бпла}}$  – висота польоту БПЛА.

Значення фактичної дальності виявлення безпілотного літального апарата спостережним постом розраховується для малих та гранично малих діапазонів висот [19] польоту БПЛА. З огляду на те, що під час проведення досліджень бажано розглядати гірший варіант, для подальших розрахунків вибирається мінімальне значення фактичної дальності виявлення  $D_{\text{виявл}}^{\text{факт. min}}$ .

Виявлення безпілотних літальних апаратів треба проводити навколо об'єкта, тому необхідну зону виявлення можна зобразити кругом з радіусом, який відповідає необхідній дальності  $D_{\text{виявл}}^{\text{необх}}$  виявлення БПЛА. Відповідно загальну площу необхідної зони  $S_{\text{з.виявл}}^{\text{необх}}$  виявлення безпілотних літальних апаратів можна знайти за відомою формулою площі круга, тобто

$$S_{\text{з.асуае}}^{\text{і.аеа}} = 2 \cdot \pi \cdot D_{\text{асуае}}^{\text{і.аеа}2} [i^2], \quad (8)$$

де  $D_{\text{виявл}}^{\text{необх}}$  – необхідна дальність виявлення БПЛА.

Імовірність виявлення безпілотного літального апарата  $P_{\text{виявл}}$  у полі зору спостережного поста приблизно може бути знайдена за формулою [19]

$$P_{\text{виявл}} = 1 - (1 - P_{\text{виявл}}^{\text{ттх}})^{K_{\text{п}}}, \quad (9)$$

де  $P_{\text{виявл}}^{\text{ттх}}$  – імовірність виявлення цілі, для якої визначена дальність виявлення відповідно до тактико-технічних характеристик оптико-електронного засобу;

$K_{\text{п}}$  – значення коефіцієнта перекриття дальності виявлення БПЛА.

Коефіцієнт перекриття зони виявлення характеризує ступінь перекриття необхідної зони виявлення  $S_{\text{з.виявл}}^{\text{необх}}$  безпілотного літального апарата фактичною зоною всіх постів спостереження  $n_{\text{сп.п}}$ , і цей коефіцієнт можна виразити формулою

$$K_{\text{п}} = \frac{\sum_{j=1}^{n_{\text{сп.п}}} D_{\text{виявл}}^{\text{факт. min}2}_j}{S_{\text{з.виявл}}^{\text{необх}}}. \quad (10)$$

Відповідно до визначених гіпотез терористично-диверсійною групою безпілотні літальні апарати можуть застосовуватися як поодинокі, так і групами. Наземні засоби протиповітряної оборони військової частини з охорони атомної електростанції виконують завдання з прикриття дорученого об'єкта шляхом знищення малогабаритних літальних апаратів. Можливості вказаних засобів військової частини з охорони АЕС визначаються їх кількістю та чисельністю БПЛА.

Вважатимемо виконання бойового завдання особовим складом засобів протиповітряної оборони військової частини з охорони АЕС як процес, що включає приведення у бойову готовність визначених засобів, пошук цілі та знищення безпілотних літальних апаратів. При цьому знищення БПЛА має бути здійснене до межі зони невиконання бойового завдання ЗПО. Засоби протиповітряної оборони частини мають зони поразення цілі (див. рис. 2), розміри яких залежать від висоти польоту цілей та типу ЗПО. Це передбачає перебування БПЛА у визначених зонах деякий час і дозволяє, з

урахуванням визначених гіпотез та припущень, подати процес виконання бойового завдання особовим складом засобів протиповітряної оборони частини системою масового обслуговування з відходом із черги, на вхід якої надходить потік вимог на “обслуговування”, інтенсивність якого  $I$  збігається з інтенсивністю входу БПЛА у зону ураження цілі ЗПО.

У систему (M/M/n/m) із  $n$  каналів обслуговування та нескінченною кількістю місць для очікування ( $m = \infty$ ) надходить найпростіший потік “нетерплячих” вимог з інтенсивністю  $I$ . Середній час  $T_j$  “обслуговування” (знищення) вимог (цілей) має показниковий розподіл і дає змогу знайти продуктивність  $\mu$  каналу обслуговування (засобу протиповітряної оборони) за формулою  $\mu = \frac{1}{T_j}$ .

Вимога, яка застала всі канали зайнятими, стає в чергу і чекає на обслуговування. Час очікування є ймовірним, має середнє значення  $T_{оч}$  і може обмежуватися середньою тривалістю перебування безпілотного літального апарата в зоні поразення цілі ЗПО (див. рис. 2) до границі невиконання завдання (див. рис. 1):

$$T_{оч} = \frac{D_{д.з} - D_{ур}}{V_{бпла} \cdot 60}, (D_{д.з} \geq D_{ур}), [хв], \quad (11)$$

де  $D_{д.з}$  – максимальна дальність зони поразення цілі ЗПО;

$D_{ур}$  – максимальна дальність дії бортової зброї БПЛА;

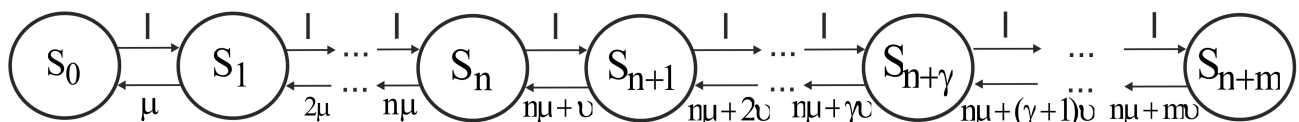


Рис. 3. Граф станів моделі обслуговування цілей

$V_{бпла}$  – середня швидкість польоту БПЛА.

Ймовірна тривалість перебування цілі в черзі розподілена по показниковому закону з параметром  $\nu = \frac{1}{T_{оч}}$ . Відповідно, кожна ціль,

яка перебуває в черзі, породжує додатковий потік залишення черги з інтенсивністю  $\nu$ .

Граф моделі обслуговування цілей зі станами  $S_j$  ( $j = 0, \dots, m$ ), де  $j$  – кількість цілей, що знаходиться в системі (як такі, що обслуговуються, так і ті, що чекають на обслуговування обмежений час), наведено на рис. 3.

З метою визначення ймовірностей станів моделі обслуговування використаємо такі відомі формули [20], як:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^n}{n!} \cdot \sum_{\gamma=1}^m \frac{\rho^\gamma}{\prod_{s=1}^{\gamma} (n + s\beta)}}; \quad (12)$$

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot P_0, (0 < k \leq n); \quad (13)$$

$$P_{n+\gamma} = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{\rho^\gamma}{\prod_{s=1}^{\gamma} (n + s\beta)} \cdot P_0, (\gamma = \overline{1, m}), \quad (14)$$

де  $\rho = \frac{I}{\mu}$ ,  $\beta = \frac{\nu}{\mu}$  – коефіцієнти завантаження каналів та залишення черги цілями відповідно.

Знайшовши ймовірності всіх станів, можна розрахувати математичне сподівання  $M_{з.кан}$  кількості каналів, зайнятих обслуговуванням [20]:

$$M_{з.кан} = n - \sum_{k=0}^n (n-k) \cdot P_k \quad (15)$$

Абсолютну пропускну здатність  $A$  системи обслуговування, тобто середню кількість обслугованих цілей, знайдемо з урахуванням того, що кожен із зайнятих каналів  $M_{з.кан}$  реалізує обслуговування з продуктивністю  $\mu$  за одиницю часу [20]:

$$A = M_{з.кан} \cdot \mu = \left( n - \sum_{k=0}^n (n-k) \cdot P_k \right) \cdot \mu \quad (16)$$

Ймовірність  $P_{обсл}$  того, що вимога (ціль – БПЛА), яка потрапить у систему обслуговування (зону поразення цілі), буде обслугована (знищена), знайдемо як відношення середньої кількості обслугованих цілей  $A$  до середньої кількості цілей, що надходить до системи обслуговування за одиницю часу [20]:

$$P_{обсл} = \frac{A}{I} = \frac{1}{\rho} \left( n - \sum_{k=0}^n (n-k) \cdot P_k \right) \quad (17)$$

Середню довжину черги  $r$  знайдемо як математичне сподівання величини  $\gamma$  – кількість вимог у черзі [20]:

$$r = \frac{\rho^n}{n!} \cdot \frac{\gamma \cdot \rho^\gamma}{\prod_{s=1}^{\gamma} (n+s\beta)} \cdot P_0, (\gamma = \overline{1, m}) \quad (18)$$

Необхідно зазначити, що якщо термін  $T_{оч}$  очікування прагнучиме до нуля  $T_{оч} \rightarrow 0$ , відповідно щільність  $V$  потоку відходом із черги прагнучиме до нескінченності ( $v \rightarrow \infty$ ), то система з очікуванням автоматично перетворюється в систему масового обслуговування з відмовами [21], вирази (16)

перетворяться в нулі, а вирази (14), (15) – у формули Ерланга для системи з відмовами:

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{k=0}^n \frac{\rho^k}{k!}}; \quad (19)$$

$$P_k = \frac{\rho^k}{k!} \cdot P_0, (0 < k \leq n). \quad (20)$$

З метою перевірки придатності розробленої моделі для застосування за призначенням виконаємо розрахунки для умов, близьких до реально можливих.

Атомна електростанція розміщена на рівнині. Рельєф місцевості зони відповідальності військової частини з охорони АЕС змішаного типу: рівнина і горбиста місцевість. Військова частина виконує завдання з протидії безпілотним літальним апаратам шляхом їх виявлення й за необхідності – знищення. Виявлення здійснюється оптико-електронними та спостережними засобами, а знищення – засобами протиповітряної оборони. У таблиці подано всі початкові дані у формі позначень, використаних у цьому тексті, та результати розрахунків із застосуванням формул розробленої моделі (1) – (20).

З результатів розрахунків ймовірностей виявлення  $P_{виявл}$  та обслуговування  $P_{обсл}$ , тобто знищення безпілотних літальних апаратів (див. таблицю), можна зробити висновок, що з визначеними початковими даними та технічними характеристиками засобів спостереження і протиповітряної оборони сили та засоби системи протидії безпілотним літальним апаратам здатні знищити визначену кількість БПЛА за умов їх виявлення  $P_{виявл} = 0,44$ . Оскільки ймовірність виявлення залежить від фактичної зони виявлення, а розрахунок проводився за умов, що спостережні пости знаходяться безпосередньо поблизу об'єкта, то вказану зону можна збільшити внаслідок переміщення спостережних постів углиб зони відповідальності військової частини.

*Початкові дані та результати розрахунків з використанням розробленої моделі*

№	Позначення	Значення	№	Позначення	Значення	№	Позначення	Значення
1	$D_{ур} (м)$	3000	13	$T_j (хв)$	1,5	25	$T_{оч} (хв)$	1,67
2	$D_{д.з} (м)$	6000	14	$I$	0,4	26	$v$	0,6
3	$V_{бпла} (м/с)$	30	15	$\mu$	0,67	27	$P_0$	0,5483
4	$t_{гот} (с)$	15	16	$D_{виявл}^{необх} (м)$	6696	28	$P_1$	0,329
5	$t_{зн} (с)$	8,2	17	$n_{СПП}$	4	29	$P_2$	0,099
6	$\alpha_{П.з}$	90	18	$D_{виявл}^{факт. min} 1П (м)$	3500	30	$P_3$	0,0204
7	$D_{виявл}^{max} (м)$	10000	19	$D_{виявл}^{факт. min} 2П (м)$	7000	31	$P_4$	0,0032
8	$K_{рел}^{рівн}$	1	20	$D_{виявл}^{факт. min} 3П (м)$	7000	32	$P_5$	0,0004
9	$K_{рел}^{холм} \begin{matrix} ГМВ \\ МВ \end{matrix}$	$\begin{matrix} 0,35 \\ 0,7 \end{matrix}$	21	$D_{виявл}^{факт. min} 4П (м)$	7000	33	$M_{з.кан}$	0,574
10	$P_{виявл}^{ГТХ}$	0,5	22	$S_{з.виявл}^{необх} (м^2)$	281572692	34	$A$	0,383
11	$n$	2	23	$K_{п}$	0,84	35	$P_{обсл}$	0,96
12	$m$	5	24	$P_{виявл}$	0,44	36	$r$	0,028

### Висновки

Таким чином, розроблена модель дає змогу оцінити можливості сил та засобів військових частин з охорони атомних електростанцій щодо протидії безпілотним літальним апаратам, що може допомогти командуванню визначених частин приймати обґрунтовані рішення стосовно побудови системи протидії безпілотним літальним апаратам, і дозволяє вважати поставлену мету статті досягнутою.

Напрямок подальшого дослідження може бути розроблення методу оцінювання можливостей військової частини з охорони ядерної установки щодо протидії вчиненню диверсії з урахуванням створеної моделі.

### Список використаних джерел

1. Сирия: базу РФ атакували высокотехнологичные дроны [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://riafan.ru/1014250-siriya-bazu-rf-atakovali-vysokotekhnologichnye-drony-a-objekty-ssha-i-turcii-okhranyaet-druzhba-s-boevikami> (дата обращения : 16.01.2019). – Загл. с экрана.

2. Беспилотники с зажигательными гранатами атаковали склады ВСУ в Донецкой области [Електронний ресурс]. – Режим доступа:

<https://nv.ua/ukraine/events/bespilotniki-s-zazhigatelnyimi-granatami-atakovali-skladu-vsu-v-donetskoj-oblasti-98633.html> (дата звернення : 16.01.2019). – Назва з екрана.

3. Генштаб: Беспилотники напали на военные склады ВСУ [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <https://korrespondent.net/city/zaporozhye/3631328-henshtab-bespylotnyky-napaly-na-voennye-sklady-vsu> (дата звернення : 16.01.2019). – Назва з екрана.

4. Міністр оборони України Степан Полторак каже, що до пожежі на складах боєприпасів у Балаклії призвели різні способи диверсії [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://www.depo.ua/ukr/politics/poltorak-nazvav-pro-dvi-versiyi-vibuhu-skladu-bojepripaiv-na-harkivschini-20170323541865> (дата звернення : 16.01.2019). – Назва з екрана.

5. Карякин, В. В. Беспилотные летательные аппараты – новая реальность войны [Текст] / В. В. Карякин // Проблемы национальной стратегии Российского института стратегических исследований. – 2015. – № 3 (30). – С. 130–145.

6. Аналіз сучасних засобів знищення безпілотних літальних апаратів [Текст] /



Р. В. Корольов, Н. О. Королюк, О. В. Петров, К. В. Сюлев // Збірник наукових праць Харківського національного університету Повітряних Сил. – Харків : ХНУПС, 2017. – № 4 (53). – С. 17–21.

7. Корченко, А. Г. Обобщённая классификация беспилотных летательных аппаратов [Текст] / А. Г. Корченко, О. С. Ильяш // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : ХНУПС, 2012. – № 4 (33). – С. 27–36.

8. Годунов, А. И. Комплекс обнаружения и борьбы с малогабаритными беспилотными летательными аппаратами [Текст] / А. И. Годунов, С. В. Шишков, Н. К. Юрков // Надежность и качество сложных систем. – 2014. – № 2 (6). – С. 62–70.

9. Про затвердження переліку заходів щодо вдосконалення протиповітряного захисту ядерних установок, що знаходяться на території України [Текст] : розпорядження Кабінету Міністрів України від 28 серпня 2013 р. № 661-р // Офіційний вісник України. – 2013. – № 69. – Ст. 2545. – С. 85.

10. Загорка, О. М. Основні положення комплексної методики вибору доцільних варіантів прикриття важливих державних об'єктів силами та засобами протиповітряної оборони в операції (бойових діях) [Текст] / О. М. Загорка, В. В. Тюрін // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2017. – № 2 (27). – С. 26–30.

11. Обґрунтування показника ефективності зенітного ракетного прикриття важливих державних об'єктів [Текст] / С. В. Новіченко, С. В. Нечитайло, В. Г. Єрдяков та ін. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України Харківського національного університету Повітряних Сил. – 2012. – № 3 (9). – С. 61–64.

12. Жарик, А. М. Выбор единых показателей и критериев эффективности функционирования систем ПВО важных государственных объектов [Текст] / А. М. Жарик // Системи озброєння і військова техніка. – 2011. – № 2 (26). – С. 199–204.

13. Анализ методики расчета эффективности боевых действий группировки ЗРВ [Текст] / А. Б. Скорик, М. А. Ермошин,

К. В. Закутин та ін. // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України Харківського університету Повітряних Сил. – 2015. – № 1 (18). – С. 49–53.

14. Моделирование бойових дій військ (сил) протиповітряної оборони та інформаційне забезпечення процесів управління ними (теорія, практика, історія розвитку) [Текст] : монографія / В. П. Городнов, Г. А. Дробаха, М. О. Ермошин та ін. – Харків : ХВУ, 2004. – 410 с.

15. Семенец, В. О. Способы противодействия беспилотным летательным аппаратам [Текст] / В. О. Семенец, М. П. Трухин // Научные технологии в космических исследованиях Земли. – 2018. – Т. 10. – № 3. – С. 4–12.

16. Управляемые боеприпасы для БПЛА [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://technowars.defence.ru/article/upravliaemie-boeprisasi-dlia-bpla/> (дата обращения : 30.01.2019). – Загл. с экрана.

17. Ерёмин, Г. В. Организация системы борьбы с малоразмерными БПЛА [Электронный ресурс] / Г. В. Ерёмин, А. Д. Гаврилов, И. И. Назарчук // Арсенал Отечества. – Москва, Россия. – 2014. – № 6 (14). – Режим доступа : <http://arsenal-otechestva.ru/article/389-antidrone> (дата обращения : 02.02.2019). – Загл. с экрана.

18. Поле зору [Електронний ресурс]. – Режим доступу : [http://uk.wikipedia.org/wiki/Поле\\_зору](http://uk.wikipedia.org/wiki/Поле_зору) (дата звернення : 02.02.2019). – Назва з екрана.

19. Городнов, В. П. Методика прогноза эффективности группировок родов войск ПВО / В. П. Городнов. – Харьков : ХВУ, 1999. – 32 с.

20. Теоретические основы моделирования микроэкономических и других процессов и систем [Текст] : монография / В. П. Городнов. – Харків : Акад. ВВ МВС України, 2008. – 483 с.

21. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – Москва : Наука, 1969. – 576 с.

*Стаття надійшла до редакції 11.03.2019 р.*

УДК 355.351.4

**В. П. Городнов, В. Г. Малюга, О. М. Головань, С. Н. Суколько**

**МОДЕЛЬ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ БЕСПИЛОТНЫМ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТАМ СИЛАМИ И СРЕДСТВАМИ ВОЙНСКИХ ЧАСТЕЙ ПО ОХРАНЕ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ**

*При построении системы противодействия беспилотным летательным аппаратам перед введением в действие необходимо проводить оценку возможностей выполнения системой задач по противодействию беспилотным летательным аппаратам с учетом многих факторов и параметров, что порождает проблему такой оценки. Поэтому с целью решения определенной проблемы в статье была разработана модель противодействия беспилотным летательным аппаратам силами и средствами воинских частей по охране атомных электростанций.*

*В разработанной модели оцениваются вероятность обнаружения и, с помощью системы массового обслуживания, вероятность уничтожения беспилотных летательных аппаратов, что может помочь командованию воинских частей по охране атомных электростанций принимать обоснованные решения по построению системы противодействия беспилотным летательным аппаратам. В статье с целью проверки пригодности разработанной модели для применения по назначению выполнены расчеты для условий, близких к реально возможным.*

**Ключевые слова:** беспилотные летательные аппараты, воинские части по охране атомных электростанций, система противодействия беспилотным летательным аппаратам, система массового обслуживания.

UDC 355.351.4

**V. P. Gorodnov, V. G. Malyuga, O. M. Golovan, S. M. Sukonko**

**MODEL OF COUNTERING THE UNMANNED AERIAL VEHICLES BY FORCES AND MEANS OF MILITARY UNITS FOR NUCLEAR POWER PLANTS PROTECTION**

*Recently, the number of incidents of damage of important state or military facilities by criminals using unmanned aerial vehicles has increased. The task of covering nuclear power plants in the airspace is entrusted to the forces and means of anti-aircraft missile forces of the Armed Forces of Ukraine. They are mainly designed for the destruction of large-sized unmanned aerial vehicles and at long distances. However, when criminals use small-sized unmanned aerial vehicles at short distances from a nuclear power station in order to reconnoiter the territory of nuclear power stations or damage vital centers of the station with attack unmanned aerial vehicles, anti-aircraft missile forces of the Armed Forces of Ukraine may not be effective. Therefore, military units for the protection of nuclear power plants, which are allocated from the National Guard of Ukraine, must have their own system to counter unmanned aerial vehicles.*

*When building such a system, before putting it into operation, it is necessary to assess the ability of the system to perform tasks to counter unmanned aerial vehicles, taking into account many factors and parameters, which raises the problem of such an assessment. Therefore, in order to solve a specific problem, the article developed a model for countering unmanned aerial vehicles by the forces and means of military units to protect nuclear power plants.*

*The developed model estimates the probability of detection and, with the help of a queuing system, the probability of destroying unmanned aerial vehicles, which can help the command of military units to protect nuclear power plants to make informed decisions on building a system to counter unmanned aerial vehicles. In the article, in order to verify the suitability of the developed model for its intended use, calculations have been performed for conditions close to the real ones.*

**Keywords:** unmanned aerial vehicles, military units for the protection of nuclear power plants, a system for countering unmanned aerial vehicles, a queuing system.

**Городнов Вячеслав Петрович** – доктор військових наук, професор, професор кафедри тактико-спеціальної підготовки Національної академії Національної гвардії України

<https://orcid.org/0000-0001-8593-8871>

**Малюга Володимир Геннадійович** – доктор військових наук, старший науковий співробітник, заступник начальника наукового центру Повітряних Сил Харківського національного університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

<https://orcid.org/0000-0001-6227-1269>

**Головань Олег Михайлович** – кандидат військових наук, доцент кафедри тактико-спеціальної підготовки Національної академії Національної гвардії України

<https://orcid.org/0000-0002-7290-8021>

**Суконько Сергій Миколайович** – ад'юнкт Національної академії Національної гвардії України

<https://orcid.org/0000-0003-2224-4068>