

УДК 355.535.1

М.Г. Голубок

Національна академія Національної гвардії України, Харків

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕХОПЛЕННЯ ЗОВНІШНЬОГО ПРАВОПОРУШНИКА НА ПІДСТУПАХ ДО ЖИТТЄВО ВАЖЛИВИХ ЦЕНТРІВ АЕС З УРАХУВАННЯМ ЧАСУ ПОДОЛАННЯ ФІЗИЧНИХ БАР'ЄРІВ ЗАБОРОНЕНОЇ ЗОНИ

У статті наведена розроблена математична модель перехоплення зовнішнього правопорушника на підступах до життєво важливих центрів АЕС з урахуванням часу подолання фізичних бар'єрів забороненої зони. Дана модель враховує такі фактори, як своєчасне виявлення комплексом інженерно-технічних засобів актів незаконного вторгнення, кваліфікацію і оснащеність правопорушників, структуру фізичних бар'єрів розташованих по периметру забороненої зони та час необхідний їм для подолання цих фізичних бар'єрів. Проведено математичне моделювання процесу перехоплення.

Ключові слова: правопорушник, система протидії актам зовнішнього вторгнення, подолання, ймовірність, перехоплення, математична модель.

Вступ

Постановка проблеми. При виявленні порушення сигнального рубежу тактика дій варти включає два елементи: перехоплення зовнішнього правопорушника (далі – ЗПП), що подолав охоронний периметр, силами групи пошуку (ГП) і вогневий бій силами тривожної групи варти (далі – ТГВ).

При виявленні порушення сигнального рубежу ГП з максимальною швидкістю висувається до місця порушення периметра з урахуванням прогнозованого напрямку переміщення порушників з метою виявлення ЗПП, визначення складу його сил і затримання його руху шляхом ведення зустрічного бою. Одночасно ТГВ по заздалегідь визначених маршрутах висувається до рубежу розгортання, займає кругову оборону на бойових позиціях і веде позиційний бій з ЗПП, що атакує, з метою його знищення чи затримання до прибуття резервної групи частини.

Якщо ГП виявила противника і зав'язала з ним зустрічний бій, то ТГВ зосереджує сили у цьому напрямку, не ослабляючи інших напрямків, з яких також можливе порушення.

Таким чином, при оцінці ефективності оборонного бою ТГВ необхідно визначити її можливості щодо перехоплення ЗПП на дальніх підступах до життєво важливих центрів (ЖВЦ) АЕС. Ці можливості характеризуються часом, дальністю та доцільним напрямком перехоплення.

Крім того, необхідно враховувати такі важливі фактори, як час готовності ГП та ТГВ для висування до місця перехоплення та час необхідний ЗПП для подолання фізичних бар'єрів розташованих по периметру забороненої зони (ЗЗ). Час подолання фізичних бар'єрів залежить від структури фізичних бар'єрів, характеристик виявлення комплексу інженерно-

рно-технічних засобів (КІТЗ), кваліфікації та оснащеності ЗПП.

У зв'язку з цим у статті розглядається розроблена математична модель перехоплення ЗПП різних типів після їх виявлення на сигнальному рубежу ЗЗ, в якій враховуються вище зазначені фактори.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Питання побудови математичних моделей перехоплення розглядалися у багатьох наукових джерелах. В [1, 2] систематично викладені загальні питання аналізу ризиків, а також управління (прийняття рішень та обґрунтування мір) ризиками для різних об'єктів.

В [3] розглянуті деякі підходи до математичного опису та формалізації зовнішнього порушника в задачі оцінки ефективності системи фізичного захисту (СФЗ). Крім того, приведена модель ЗПП при використанні ним тактики скритного проникнення.

В роботах [4, 5] розроблена математична модель перехоплення, у якій можливість випередження вартою ЗПП у висуванні ТГВ до рубежу розгортання залежить від взаємного розташування в захищеній зоні АЕС рубежу розгортання ТГВ та рубежу перехоплення ЗПП, швидкості руху протидіючих сторін та часу, необхідного ТГВ для висування до нього. Розрахунки починаються з моменту перетину ЗПП останнього рубежу фізичних бар'єрів ЗЗ (сигнального рубежу). Але дана математична модель не враховує залежність від ймовірності своєчасного виявлення КІТЗ актів подолання ЗПП фізичних бар'єрів ЗЗ та час необхідний їм для подолання фізичних бар'єрів розташованих по периметру ЗЗ.

В [6] описаний етап подолання ЗПП фізичних бар'єрів забороненої зони з урахуванням його підготовленості та оснащеності, та можливих способів подолання системи протидії актам зовнішнього вторгнення (далі – СПАЗВ).

Метою статті є розроблення математичної моделі перехоплення зовнішнього правопорушника на підступах до життєво важливих центрів АЕС з урахуванням часу подолання їм фізичних бар'єрів забороненої зони.

Виклад основного матеріалу

Розрахунки проводяться при таких допущеннях: точка подолання периметру забороненої зони відома; ЗПП після подолання фізичних бар'єрів периметру забороненої зони рухається в напрямку розташування найважливіших центрів АЕС, утворюючи сектор можливих напрямків; група переміщається до рубежу розгортання по заздалегідь визначеним маршрутам; швидкості переміщення ТГВ та ЗПП постійні, периметр забороненої зони на всій протяжності обладнаний КІТЗ одноманітно та не має мертвих зон. Модельна задача процесу перехоплення представлено на рис. 1. ГП розташована на лінії, що паралельна лінії периметру у точці $(x, y) = (0, L_1)$. Група ЗПП або підрозділ диверсійно-штурмова група (ДШГ), подолавши охоронний периметр у точці $(x, y) = (0, L_{вх})$, переміщується із швидкістю V_2 у напрямку α , причому

$$\begin{aligned} \pi/2 - \arctan((L_0 - L_{вх})/B) = \\ = \alpha_1 \leq \alpha \leq \alpha_2 = \pi/2 - \arctan(L_{вх}/B), \end{aligned} \quad (1)$$

де B – відстань від лінії варті до лінії периметру; $L_{вх}$ – точка перетинання ЗПП лінії периметру, L_0 – точка лінії периметру.

ГП після виявлення факту перетинання сигнального рубежу із затримкою у часі, рівному часу готовності групи до виходу на перехоплення, висувається із швидкістю V_1 у напрямку β з метою перехоплення противника. ЗПП подолає фізичні бар'єри периметру за час подолання $t_{пр}$. Методика розрахунку часу необхідного на подолання ЗПП фізичних бар'єрів КІТЗ СПАЗВ наведена в [6].

Представимо поточну відстань між ГП і групою ЗПП або ДШГ як функцію часу $R(t)$. Траєкторії руху групи ЗПП, що, долаючи перешкоди, рухається до ЖВЦ об'єкту охорони, та групи перехоплення, що рухається назустріч, представлені в параметричній системі координат $(X(t), Y(t))$ координатними функціями часу.

При вирішенні даного завдання розглянемо два випадки в залежності від співвідношення часу готовності ГП і часу подолання фізичних бар'єрів групою ЗПП.

При першого випадку ($\Delta t > t_{пр}$) ДШГ після подолання системи фізичних бар'єрів починає рух до ЖВЦ об'єкту охорони раніше ГП. Тоді відстань, яку проходить ГП до початку руху ДШГ, $\Delta D_0 = 0$, а ΔD_1 – відстань, яку проходить ДШГ до початку руху ГП, розкладаються на проєкції переміщення ДШГ та розраховується за такими формулами:

$$\Delta D_{1x} = V_2 \cdot (\Delta t - t_{пр}) \cdot \sin(\alpha),$$

$$\Delta D_{1y} = V_2 \cdot (\Delta t - t_{пр}) \cdot \cos(\alpha).$$

Відповідно, координатні функції часу мають такий вигляд:

для ГП:

$$X_1(t) = V_1 \cdot t \cdot \sin(\beta), \quad Y_1(t) = L_1 + V_1 \cdot t \cdot \cos(\beta); \quad (2)$$

для ДШГ:

$$X_2(t) = D_0 - V_2 \cdot t \cdot \sin(\alpha),$$

$$Y_2(t) = L_2 + V_2 \cdot t \cdot \cos(\alpha), \quad t > 0, \quad (3)$$

де $D_0 = B - \Delta D_{1x}$, $L_2 = L_{вх} + \Delta D_{1y}$ – відповідні проєкції місцезнаходження ДШГ на момент початку руху ГП. При цьому:

$$R(t) = \sqrt{[X_2(t) - X_1(t)]^2 + [Y_2(t) - Y_1(t)]^2},$$

а з урахуванням (2) та (3), отримуємо:

$$R(t) = \sqrt{[D_0 - A_1 \cdot t]^2 + [L_2 - L_1 + A_2 \cdot t]^2}, \quad (4)$$

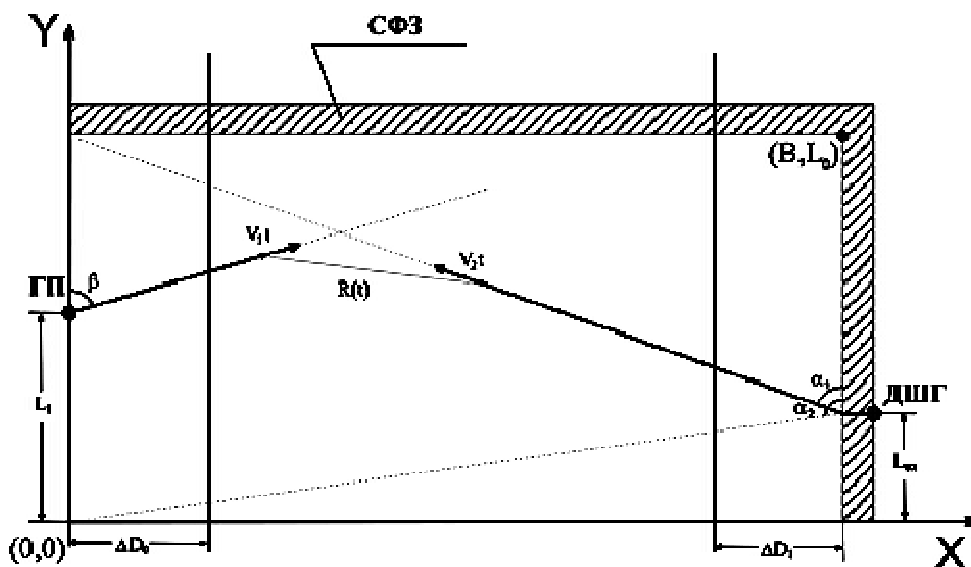


Рис. 1. Модельна задача процесу перехоплення

де $A_1 = V_2 \cdot \sin(\alpha) + V_1 \cdot \sin(\beta),$
 $A_2 = V_2 \cdot \cos(\alpha) - V_1 \cdot \cos(\beta).$

Значення часу t , при якому функція $R(t)$ приймає мінімальне значення, обчислюється так:

$$t^* = (D_0 \cdot A_1 - (L_2 - L_1) \cdot A_2) / (A_1^2 + A_2^2). \quad (5)$$

При цьому мінімальна відстань буде розраховуватися як

$$R^*(t) = \sqrt{[(D_0 - A_1 \cdot t^*]^2 + [L_2 - L_1 + A_2 \cdot t^*]^2}. \quad (6)$$

При другому випадку ($\Delta t \leq t_{пр}$) ГП починає рух на випередження раніше групи ЗПП, яка ще не пододала системи фізичних бар'єрів. Тоді відстань, яку проходить ДШГ до початку руху ГП, $\Delta D_1 = 0$, а відповідно ΔD_0 розкладаються на проекції переміщення ГП та розраховується за такими формулами:

$$\Delta D_{0x} = V_1 \cdot (t_{пр} - \Delta t) \cdot \sin(\beta),$$

$$\Delta D_{0y} = V_1 \cdot (t_{пр} - \Delta t) \cdot \cos(\beta).$$

Тоді координатні функції часу мають вигляд: для ГП:

$$X_1(t) = D_0 + V_1 \cdot t \cdot \sin(\beta);$$

$$Y_1(t) = L_2 + V_1 \cdot t \cdot \cos(\beta); \quad (7)$$

для ДШГ:

$$X_2(t) = B - V_2 \cdot t \cdot \sin(\alpha),$$

$$Y_2(t) = L_{вх} + V_2 \cdot t \cdot \cos(\alpha), \quad t > 0, \quad (8)$$

де $D_0 = \Delta D_{0x}$, $L_2 = L_1 + \Delta D_{0y}$ – відповідні проекції місцезнаходження ГП на момент початку руху ДШГ.

Отже при розрахунку $R(t)$ з урахуванням (7) та (8), отримуємо:

$$R(t) = \sqrt{[B - D_0 - A_1 \cdot t]^2 + [L_{вх} - L_2 + A_2 \cdot t]^2}, \quad (9)$$

Значення часу t , при якому функція $R(t)$ приймає мінімальне значення, обчислюється так:

$$t^* = ((B - D_0) \cdot A_1 - (L_{вх} - L_2) \cdot A_2) / (A_1^2 + A_2^2). \quad (10)$$

мінімальна відстань:

$$R^*(t) = \sqrt{[B - D_0 - A_1 \cdot t^*]^2 + [L_{вх} - L_2 + A_2 \cdot t^*]^2}, \quad (11)$$

Розглядаючи наведену модельну задачу (рис. 1) в умовних одиницях відстані і часу, проведено математичне моделювання можливості перехоплення ДШГ. Встановимо такі параметри:

$$L_0 = 10, B = 10, L_1 = 5, \beta = \frac{\pi}{2}, V_1 = 1, V_2 = 1, \Delta t = 0.$$

Структура СФЗ відповідає варіанту обладнання периметру, який наведено у [6]. Матеріал загорожень першого і другого рубежу – бетон 20 см та арматура. У якості ДШГ (групи ЗПП) розглядаються різні типи ЗПП, які оснащені драбиною.

На рис. 2, а, б показані графіки залежності дальності зближення $R(t)$ для двох точок подолання периметру, тип ЗПП – підготовлений правопорушник. Розглядалися також три можливих напрямки руху ДШГ: $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_0 = (\alpha_1 + \alpha_2) / 2$.

Відстань між ГП та ДШГ спочатку скорочується, потім, досягнувши свого мінімального значення, починає збільшуватися (рис. 2, а, б). Як видно з рисунків, розташування точки подолання периметру, напрямку можливого руху групи ПП впливає на величину наявного у ГП часу на перехоплення.

На рис. 2, в показаний графік залежності мінімальної дальності зближення R_m від точки подолання периметру $L_{вх}$ при часу готовності ГП до виходу на перехоплення $\Delta t = 0$ та різних напрямках руху ПП ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_0$) для підготовленого ЗПП.

Рис. 3, а, б відображають залежності мінімальної дальності зближення R_m від точки подолання периметру $L_{вх}$ при різній величині часу готовності ГП до виходу на перехоплення $\Delta t = (0; 1; 2; 3)$ для двох можливих напрямків руху α_0, α_1 . При розрахунках розглядається не підготовлений ПП.

Для вирішення практичних завдань нам важливо знати час, яке знаходиться в розпорядженні ГП, при якому відстань $R(t)$ приймає мінімальне значення.

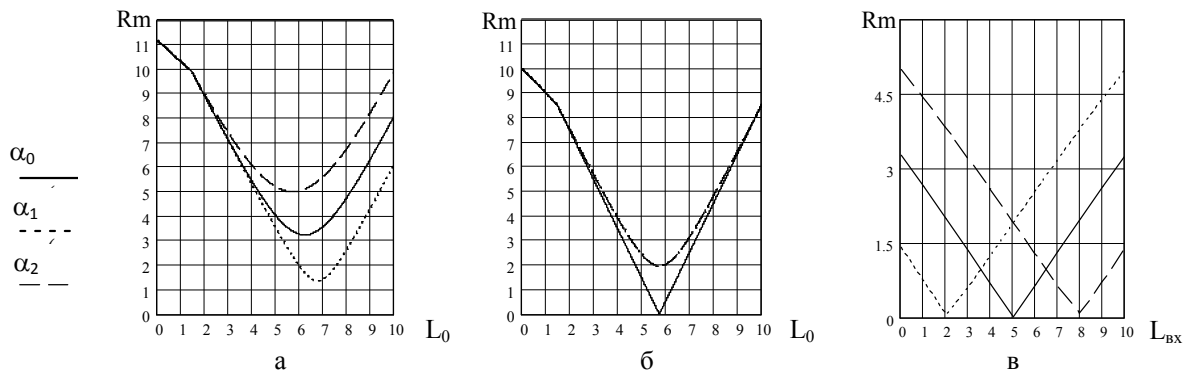


Рис. 2. Графіки залежності: дальності зближення $R(t)$ для підготовленого ЗПП при різних точках подолання периметру $L_{вх}$ (а – $L_{вх} = 0$, б – $L_{вх} = 5$); в – мінімальної дальності зближення R_m від точки подолання $L_{вх}$ при $\Delta t = 0$ та напрямку руху ДШГ $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_0$

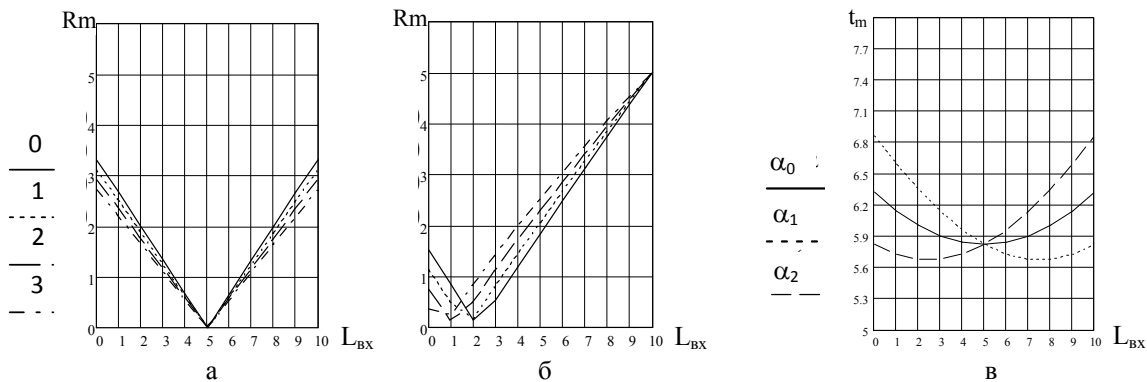


Рис. 3. Графіки залежності: мінімальної дальності зближення R_m від точки подолання периметру $L_{вх}$ (а – напрямку руху α_0 , б – напрямку руху α_1); в – часу перехоплення t_m від точки подолання периметру $L_{вх}$ при $\Delta t = 0$ та напрямку руху ДШГ

На рис. 3, в показані графіки залежності часу перехоплення t_m від точки подолання периметру $L_{вх}$ при часу готовності ГП до виходу на перехоплення $\Delta t = 0$ для підготовленого ЗПП. Відлік часу починається з моменту отримання сигналу тривоги від технічних засобів захисту периметру.

Були проведені розрахунки впливу оснащёнєсть ДШГ при подоланні фізичних бар'єрів. На рис. 4, а показані графіки залежності часу перехоплення t від точки подолання периметру $L_{вх}$ при часу готовності ГП до виходу на перехоплення $\Delta t = 0$, швидкості $V_2 = 1$ для оснащёнєсть кваліфікованого ЗПП брезентом та драбиною.

Будемо припускати, що кут α , що характеризує напрямку руху ДШГ, є випадковою величиною, що розподілена за рівномірним законом у межах α_1, α_2 , які визначаються (1), тобто із щільністю ймовірності

$$\phi(\alpha) = \begin{cases} 1/(\alpha_2 - \alpha_1), & \alpha \in [\alpha_1, \alpha_2], \\ 0, & \alpha \notin [\alpha_1, \alpha_2]. \end{cases}$$

Обчислимо при таких припущєнєях математичне сподівання функцій $t^*(\alpha)$, $R^*(t, \alpha)$

$$T_{cp} = \left(\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} t^*(\alpha) d\alpha \right) / (\alpha_2 - \alpha_1), \quad (12)$$

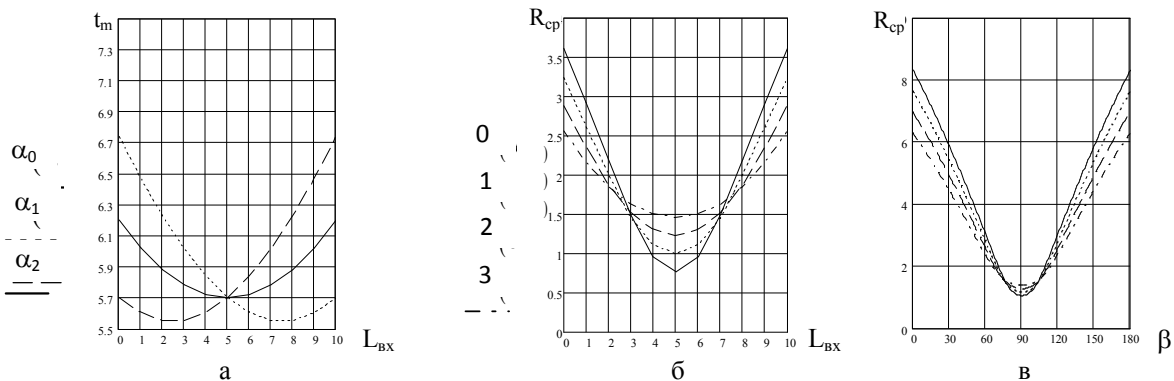


Рис. 4. Графік залежності: а – часу перехоплення t_m від точки подолання периметру $L_{вх}$ для ДШГ типу кваліфіковані ЗПП оснащёнєть драбиною та брезентом; б – середнього значєнєня дальності зближення R_{cp} при $\Delta t = (0; 1; 2; 3)$ від точки подолання периметру $L_{вх}$, $V_1 = 2$ (б) та азимуту висування $\beta \in [0, \pi]$ ГП при $V_1 = 1$ (в)

$$R_{cp}(t) = \left(\int_{\alpha_1}^{\alpha_2} R^*(t, \alpha) d\alpha \right) / (\alpha_2 - \alpha_1). \quad (13)$$

На рис. 4, б показана залежність середнього значєнєня дальності зближення R_{cp} від координат точки подолання периметра $L_{вх}$ при фіксованих значєнєях $L_0 = 10, B = 10, L_1 = 5, V_2 = 2$ і різних значєнєях часу готовності ГП $\Delta t = (0; 1; 2; 3)$ для підготовленого ЗПП оснащёнєть драбиною.

На рис. 4, в показана залежність середнього значєнєня дальності зближення R_{cp} від азимуту висування $\beta \in [0, \pi]$ ГП при стандартних умовах для підготовленого ЗПП. При розрахунках точка подолання периметру $L_{вх}$ приймалася 5.

Як видно з приведених рис. 3 та 4, найменша відстань між противниками при їх русі назустріч один одному (дальність зближення), що визначає точку перехоплення, суттєво залежить від координат точки подолання противником периметра та від азимуту висування ГП. При однакових параметрах подолання СФЗ чим краще підготовлені фахівці ДШГ та вище швидкість руху, тим менший час виділяється ГП для прийняття рішення, планування, підготовки і здійснення перехоплення. Крім того, існує оптимальне значєнєня параметра напрямку руху ГП β , при якому відстань між ГП та ДШГ є мінімальною.

Визначимо функцію розрахунку параметру азимуту висування ГП β , як екстремум функції R_{cp} та дальність зближення при доцільному напрямку руху ГП:

$$\beta^* = \arctg(\min(R_{cp})), \quad (14)$$

На рис. 5 приведена залежність доцільного напрямку руху ГП $\beta(L_{bx})$ від точки подолання периметру L_{bx} при $\Delta t = 0$, $V_1 = 1$. Дані приведені для підготовленого ЗПП.

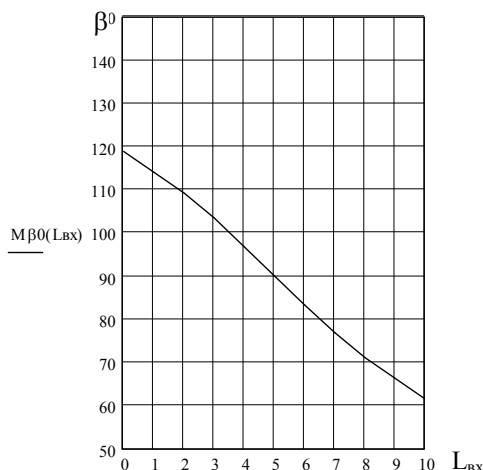


Рис. 5. Графік залежності доцільного напрямку руху ГП $\beta(L_{bx})$ від точки подолання периметру L_{bx}

З рисунку видно, що для кожної точки подолання периметру необхідно визначати оптимальний напрямку можливого руху ГП

Висновки

Таким чином, в статті розроблена і описана математична модель перехоплення ЗПП на підступах до ЖВЦ АЕС з урахуванням часу подолання фізич-

них бар'єрів ЗЗ, яка враховує залежність від імовірності своєчасного виявлення КІТЗ актив подолані ЗПП фізичних бар'єрів та час необхідний йому для подолання фізичних бар'єрів розташованих по периметру забороненої зони. Проведено математичне моделювання та встановлені залежності мінімальної відстані перехоплення, часу перехоплення та азимуту висування ГП від різних параметрів вторгнення ЗПП та їх характеристик

Список літератури

1. Радаев Н.Н. Террористическая угроза: количественная оценка для конкретного объекта / Н.Н.Радаев // Вопросы анализа риска. – 2007. – № 3. – С. 12-16.
2. Радаев Н.Н. Приближенные оценки защищенности объектов от террористических действий/ Н.Н. Радаев // Оценка эффективности. Журнал "БДИ". – 2007. – № 3 (72). – С. 28-32.
3. Радаев Н.Н. Формализация нарушителя в задаче оценки эффективности системы физической защиты объекта / Н.Н. Радаев // Оценка эффективности. Журнал "БДИ". – 2008. – №1 (76). – С. 16-22.
4. Павлов Д.В. Основы методики оцінки ефективності контрштурмового компоненту системи охорони АЕС / Д.В. Павлов, І.Ф. Ролін // Честь і закон. – Х.: Військ. ін-т ВВ МВС України, 2005. – № 4. – С. 22-27.
5. Кириченко І.О. Технологічні основи інформаційно-аналітичного забезпечення службово-бойової діяльності сил охорони правопорядку: монографія / І.О. Кириченко, С.А. Горєлишев, А.А. Побережний. – Х.: Акад. ВВ МВС України, 2013. – 292 с.
6. Голубок М.Г. Математична модель подолання правопорушником фізичних бар'єрів периметру забороненої зони особливо важливих об'єктів / М.Г. Голубок // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – 2015. – № 4 (45). – С. 163-166.

Надійшла до редколегії 10.03.2016

Рецензент: д-р військ. наук, проф. Г.А. Дробаха, Національна академія Національної гвардії України, Харків.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕХВАТА ВНЕШНЕГО ПРАВОНАРУШИТЕЛЯ НА ПОДСТУПАХ К ЖИЗНЕННО ВАЖНЫМ ЦЕНТРАМ АЭС С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ ПРЕОДОЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ ЗАПРЕЩЕННОЙ ЗОНЫ

М.Г. Голубок

В статье приведена разработанная математическая модель перехвата правонарушителя на подступах к жизненно важным центрам АЭС с учетом времени прохождения физических барьеров запрещенной зоны. Данная модель учитывает такие факторы как своевременное обнаружение комплексом инженерно-технических средств актов незаконного вторжения, квалификацию и оснащенность правонарушителей, структуру физических барьеров, расположенных по периметру запрещенной зоны и время необходимо им для преодоления этих физических барьеров. Проведено математическое моделирование процесса перехвата.

Ключевые слова: правонарушитель, система противодействия актам внешнего вторжения, преодоление, вероятность, перехват, математическая модель.

MATHEMATICAL MODEL OF INTERCEPTION EXTERNAL OFFENDERS ON THE OUTSKIRTS OF THE VITAL CENTERS NPP TIME WITH POVERTY PHYSICAL BARRIER BAND GAP

M.G. Golubok

The article presents a mathematical model developed by the interception of the offender at the approaches to the vital centers of nuclear power plants, taking into account travel time physical barriers gap. This model takes into account factors such as early detection of engineered acts of unlawful intrusion complex, skills and equipment of the offenders, the structure of physical barriers placed around the perimeter of the restricted area and the time they need to overcome these physical barriers. Mathematical modeling process interception.

Keywords: offender system of counteraction to acts of foreign invasion, overcoming probability of interception, mathematical model.