

УЛК 519.876.5



В. П. Городнов



В. В. Овчаренко



С. М. Суконько



В. Е. Лісіцин

МОДЕЛЬ ОЦІНЮВАННЯ ВРАЗЛИВОСТІ СИСТЕМИ ФІЗИЧНОГО ЗАХИСТУ ЯДЕРНОЇ УСТАНОВКИ ВІД НАПАДУ ОЗБРОЄНИХ ЗЛОЧИНЦІВ

Наведено модель оцінювання вразливості системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців, у якій для прогнозування результатів бою протиборчих сторін застосовано математичний апарат марковських процесів з безперервним часом і дискретними станами та геоінформаційну систему.

Ключові слова: ядерна установка, система фізичного захисту, метод аналітико-стохастичного моделювання.

Постановка проблеми. Атомні електростанції використовуються для вироблення електроенергії в тридцять одній країні світу [1] і можуть бути об'єктами вчинення диверсій [2]. Протидіє визначеній загрози на кожній електростанції система фізичного захисту (СФЗ), яка включає: підрозділ охорони (ПО), сили реагування (СР) та інженерно-технічні засоби (ІТЗ) [3, 4].

Відповідно до рекомендацій [2] у процесі побудови та в ході експлуатації атомної електростанції проводиться оцінювання вразливості системи фізичного захисту. При цьому визначаються можливості підрозділу охорони виконати завдання з недопущення вчинення диверсії озброєними злочинцями (ОЗ) [4].

Нападу озброєних злочинців на атомну електростанцію, до прибуття сил реагування, протидіє підрозділ охорони шляхом ведення бою. Випадковий розвиток вогневих контактів, невизначеність даних про чисельність злочинців, їх озброєння та замисел дій породжують проблему оцінки вразливості системи фізичного захисту від нападу озброєних злочинців. Рішенням проблеми може бути розроблення моделі оцінювання вразливості системи фізичного захисту від нападу озброєних злочинців, тому тема статті є актуальною.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні є низка наукових праць, які присвячені оцінці системи фізичного захисту ядерних об'єктів. Так, у статтях [5, 6] під час оцінювання ефективності системи фізичного

захисту увага зосереджена на визначенні часу випередження підрозділом охорони озброєних злочинців: якщо сили охорони прибувають до об'єкта захисту раніше правопорушників, то вважається, що ОЗ знешкоджені, а СФЗ є ефективною.

У працях [7, 8] імовірність результатів вогневого зіткнення розраховується за допомогою коефіцієнтів переваги особового складу підрозділу охорони над озброєними злочинцями за кількісним співвідношенням сил, озброєності та підготовленості, які визначаються експертами. Це може негативно впливати на достовірність результатів оцінювання захищеності ядерних об'єктів.

Відомі комп'ютерні програми [9, 10, 11] для оцінювання ефективності системи фізичного захисту ядерних об'єктів під час моделювання бойового зіткнення сил охорони з озброєними злочинцями використовують метод динаміки середніх. Визначеним методом процес бою описується за умов, що обидві протиборчі сторони постійно перебувають у полі зору одна одної і вогонь ведеться по цілях, які знаходяться на відкритій місцевості. Це є головним недоліком використання наведеного методу [12, 13], адже в реальному процесі бою так не буває.

Метою статті є розроблення моделі для оцінювання вразливості системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців.

Виклад основного матеріалу. Система фізичного захисту ядерної установки містить у собі ІТЗ, ПО та СР [3, 4]. Інженерно-технічні

засоби спрямовані на виявлення зовнішніх правопорушників (злочинців) та обмеження їх доступу до життєво важливих центрів ядерного об'єкта. З метою протидії цим злочинцям від підрозділу охорони виділяється резервна група (РГ), на допомогу якій у визначені керівними документами строки прибувають сили реагування.

Ураховуючи зазначене, територію ядерної установки можна умовно поділити на три зони (рис. 1).

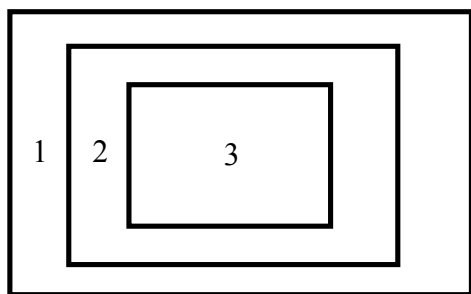


Рис. 1. Умовні зони території ядерної установки:

1 – зона охорони інженерно-технічними засобами; 2 – зона діяльності резервної групи підрозділу охорони; 3 – зона об'єктів, які можуть бути цілями озброєних злочинців

У разі подолання озброєними злочинцями першої умовної зони (див. рис. 1) особовий склад резервної групи висувається на місце спрацювання інженерно-технічних засобів з метою виявлення, знешкодження або утримання злочинців.

Під знешкодженням розуміється завдання озброєним злочинцям істотної шкоди (втрат), завдяки чому ОЗ не зможуть чинити опір особовому складу резервної групи і будуть затримані або знищені. У цьому контексті під утриманням розуміється здатність сил охорони не допустити озброєних злочинців до третьої умовної зони (див. рис. 1) шляхом ведення бою до прибуття підсилення.

Основним підпроцесом, що повторюється у ході ведення бою, є вогневий контакт. Кожен із таких контактів починається і закінчується у заздалегідь невідомий (випадковий) момент часу і має заздалегідь невідому (випадкову) тривалість та наслідки. Результатами кожного вогневого контакту можуть бути: перший – знешкодження озброєного злочинця (із імовірністю P_{zn}); другий – незнешкодження озброєного злочинця (із імовірністю $1 - P_{zn}$); третій – ураження бійця резервної групи (із імовірністю P_{yp}); четвертий – неуразження бійця резервної групи (із імовірністю $1 - P_{yp}$);

п'ятий – складається з комбінацій перших чотирьох результатів.

Процес вогневого зіткнення бійців резервної групи з озброєними злочинцями можна змоделювати, використовуючи метод аналітико-стохастичного моделювання [13]. Так, оцінивши за допомогою технології страйкбол [14] (від англ. strike – удар, ball – шар) імовірності подій P_{zn} , P_{yp} , визначивши чисельність резервної групи та ймовірну кількість озброєних злочинців (див. на рис. 2 блок 1), можливо побудувати модель процесу бойових дій окремого бійця сил охорони [15]. Із цією метою сформульовано такі гіпотези: а) результатом будь-якого вогневого контакту може бути не тільки знешкодження озброєного злочинця, але й ураження бійця тривожної групи, результат бою заздалегідь передбачити неможливо; б) озброєні злочинці у ході бою прагнуть вийти із зон вогню сил охорони й у таких зонах не накопичуються з причин безпеки та обмеженого запасу боєкомплекту; в) бій розвивається у часі як випадковий процес, інтервали між вогневими контактами випадкові та розподілені показово.

За допомогою вказаної моделі можна визначити математичне сподівання кількості вогневих контактів $n_{вк}(t)$ та знищених озброєних злочинців бійцем резервної групи $N_{zn}(t)$ [рис. 2, блок 2, де вираз (1) P_{00} – імовірність того, що боець неуразжений і не веде бій; вираз (2) P_{01} – імовірність того, що боець неуразжений і обстрілює одного озброєного злочинця; вираз (3) P_{10} – імовірність того, що боець уражений і не обстрілює озброєних злочинців; вираз (4) $n_{вк}(t)$ – математичне сподівання кількості вогневих контактів, μ – інтенсивність ведення вогню бійцем резервної групи; вираз (5) $N_{zn}(t)$ – математичне сподівання кількості знищених озброєних злочинців бійцем резервної групи, P_{zn} – імовірність знешкодження озброєного злочинця].

Оцінку результатів бою резервної групи з озброєними злочинцями можна визначити за допомогою сукупності моделей бою окремих бійців, а загальний результат – як суму результатів їх боїв. Однак у такому випадку занижується оцінка кількості атакованих і знищених озброєних злочинців, тому що залишається неврахованим ефект збільшення

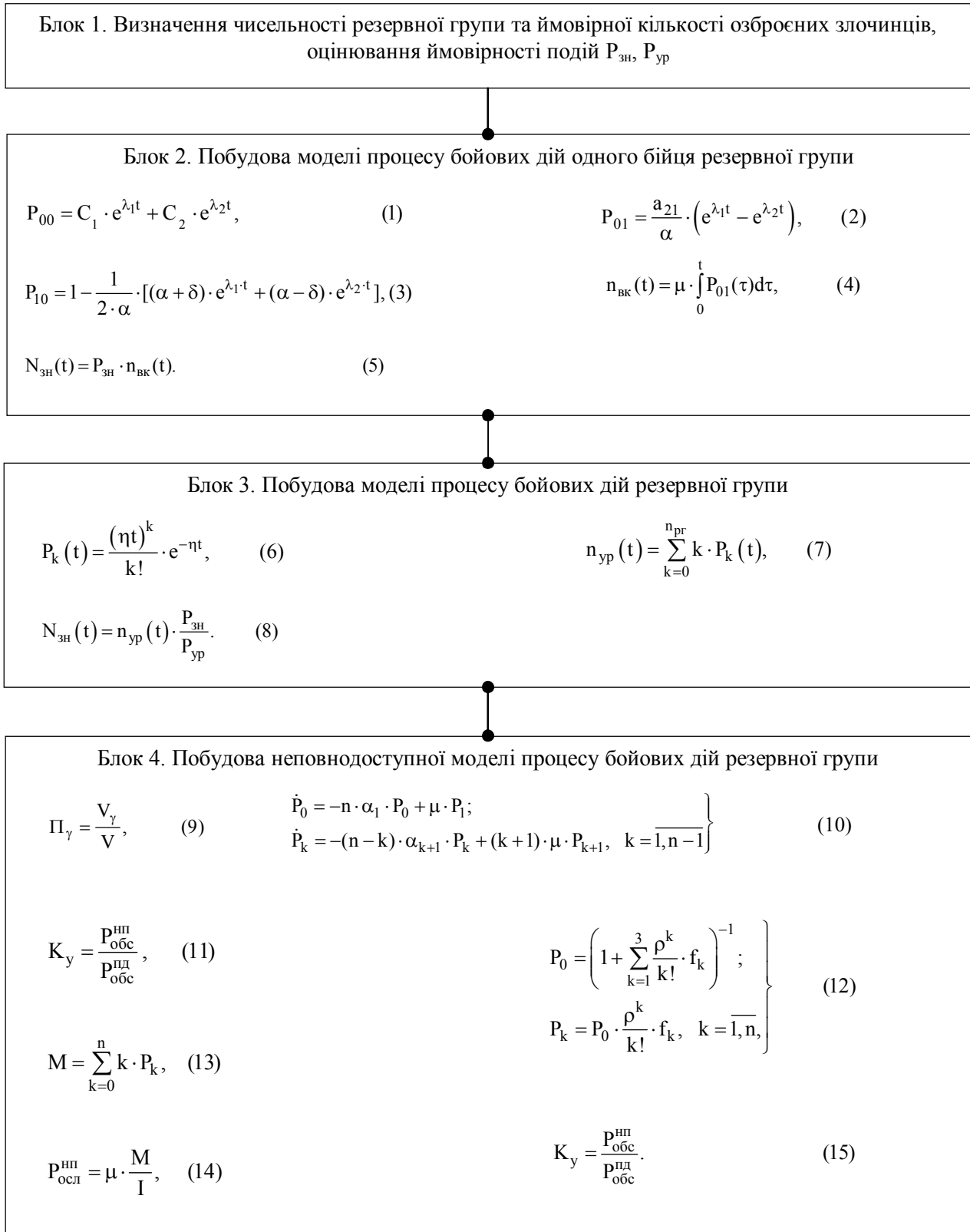


Рис. 2. Схема моделі оцінювання вразливості системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців

системної продуктивності. Ця продуктивність існує завдяки демпфіруванню нерівномірностей вхідного потоку озброєних злочинців у фактично багатоканальному бойовому порядку

підрозділу охорони, коли у разі зайнятості одного бійця резервної групи з іншим озброєним злочинцем може вступити у бій інший боєць. Тому наступним етапом в

оцінюванні вразливості системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців є побудова моделі процесу бойових дій для резервної групи [рис. 2, блок 3, де вираз (6) P_k – імовірність групових станів уражених бійців резервної групи, $0 \leq k \leq n_{\text{пр}}$, $n_{\text{пр}}$ – кількість бійців, що входить до резервної групи; вираз (7) $n_{\text{ур}}(t)$ – математичне сподівання кількості уражених бійців; вираз (8) $N_{\text{зн}}(t)$ – математичне сподівання кількості знищених озброєних злочинців, $P_{\text{зн}}$ – імовірність знешкодження озброєного злочинця, $P_{\text{ур}}$ – імовірність ураження бійця] з урахуванням під час розрахунків умовного математичного сподівання кількості зайнятих боєм бійців резервної групи $M[j/i]$:

$$M[j/i] = \frac{1}{I_{\text{н.ур}}} \cdot (1 - e^{-I_{\text{н.ур}}t}),$$

де $I_{\text{н.ур}}$ – інтенсивність благополучного для бійця резервної групи результату вогневого контакту (неураження бійця).

У разі знешкодження або утримання озброєних злочинців у другій умовній зоні (див. рис. 1) особовий склад резервної групи займає бойові позиції по рубежу блокування. При цьому бійці мають обмежену, індивідуальну для кожного зону обстрілу противника. Це викликає необхідність моделювання бою з використанням математичного апарату неповнодоступних систем масового обслуговування (СМО) [13, 16], що дозволяє враховувати неповну доступність озброєних злочинців для обстрілу силами охорони.

Побудова неповнодоступної моделі процесу бойових дій резервної групи дає змогу розрахувати коефіцієнт участі бійців у вогневих контактах K_y [рис. 2, блок 4, де вираз (9) P_γ – імовірність того, що озброєний злочинець виявиться доступним для обстрілу рівно γ бійців резервної групи, V_γ – просторовий об'єм зони обстрілу з γ -кратним перекриттям зон ведення вогню бійцями, V – сумарний, що аналізується, об'єм простору місцевості в районі рубежу блокування; вираз (10) – система диференціальних рівнянь процесу обслуговування для ймовірностей перебування у групах вершин P_k , $k = 0, n-1$;

вираз (11) f_k – функція неповнодоступності; вираз (12) P_0 , P_k – фінальні ймовірності групових станів; вираз (13) M – математичне сподівання значення кількості каналів, зайнятих обслуговуванням; вираз (14) $P_{\text{осл}}^{\text{нп}}$ – імовірність обслуговування вимог у неповнодоступній системі масового обслуговування $M/M/n$, μ – інтенсивність обслуговування, I – інтенсивність потоку вимог; вираз (15) K_y – коефіцієнт участі бійців у вогневому контакті, $P_{\text{осл}}^{\text{нп}}$ – імовірність обслуговування потоку цілей неповнодоступною системою масового обслуговування, $P_{\text{осл}}^{\text{нд}}$ – імовірність обслуговування того ж потоку цілей аналогічною повнодоступною системою масового обслуговування].

Визначений коефіцієнт участі K_y можна застосовувати для оперативного розрахунку математичного сподівання кількості зайнятих бійців резервної групи $M[j/i]$:

$$M[j/i] = M[j/i = k] \cdot K_y,$$

де $M[j/i = k]$ – умовне математичне сподівання кількості бійців, які зайняті боєм, за умови, що уражено рівно $i = k$ бійців ($0 \leq k \leq n_{\text{пр}}$, де $n_{\text{пр}}$ – чисельність резервної групи); K_y – коефіцієнт участі бійців у вогневому контакті.

Коефіцієнт участі K_y залежить від просторового об'єму зони обстрілу V_γ та сумарного, що аналізується, об'єму простору місцевості в районі рубежу блокування бійцями V [див. рис. 2, блок 4, вираз (9)]. Визначені просторові об'єми можна знайти за допомогою геоінформаційної системи. Ця система дозволяє знайти ділянки місцевості зближення протиборчих сторін на відстань ведення вогню (рис. 3) і як наслідок – визначити просторові об'єми (V_γ, V) з урахуванням розміщення різних об'єктів і споруд, які знаходяться на території ядерної установки.

Відповідно до [13] під час моделювання бойових дій здійснюється контроль адекватності моделі реальному процесу. Адекватність розробленої моделі (див. рис. 2) з точністю сформульованих гіпотез “а”–“в” можна перевірити рівністю математичних

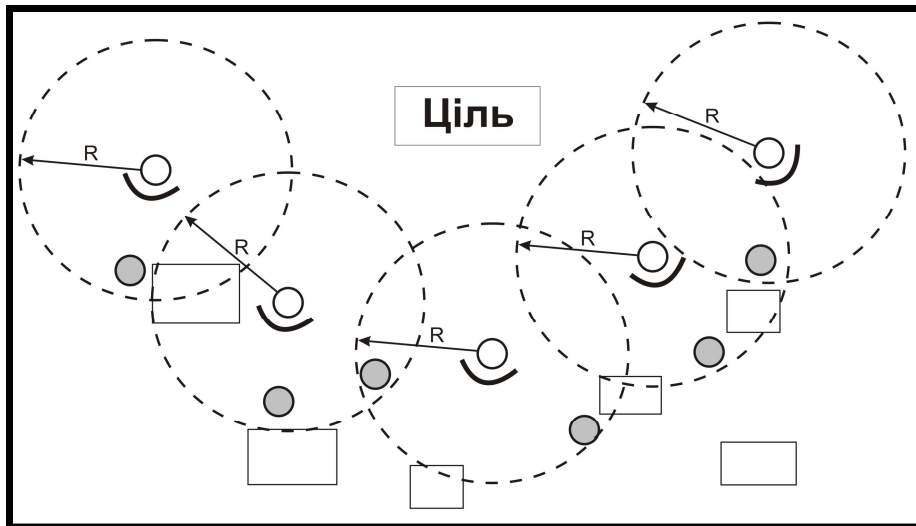


Рис. 3. Схема розміщення бійців резервної групи (○) під час протидії озброєним злочинцем (●) (R – радіус ведення вогню)

сподівань відносних втрат сторін на будь-який момент бою [13]:

$$n_{yp}^*(t) = N_{zn}^*(t) = n_0^*(t),$$

де $n_{yp}^*(t)$ – відносне значення математичного сподівання втрат військовослужбовців резервної групи варті;

$N_{zn}^*(t)$ – відносне значення математичного сподівання втрат бійців диверсійно-розвідувальної групи;

$n_{вк}^*(t)$ – відносне значення математичного сподівання вогневих контактів.

У разі утримання озброєних злочинців на підступах до третьої умовної зони (див. рис. 1) необхідно, щоб резервна група була боєздатною протягом певного часу, потрібного для прибуття сил реагування. Поріг очікуваних втрат (небоєздатності) резервної групи у моделі оцінювання вразливості системи фізичного захисту ядерної установки ґрунтується на відомому рівні втрат [17]:

$$n_{yp}(t) = \begin{cases} n_{yp}(t) \leq 0,2 - \text{боєздатна РГ}; \\ 0,2 < n_{yp}(t) \leq 0,5 - \text{обмежено боєздатна РГ}; \\ 0,5 < n_{yp}(t) < 0,7 - \text{частково боєздатна РГ}; \\ n_{yp}(t) \geq 0,7 - \text{небоєздатна РГ}. \end{cases}$$

Тому в момент досягнення оцінкою очікуваних втрат резервної групи величини $n_{yp}(t) = 0,7$ необхідно вважати, що ОЗ зможуть досягти своєї мети. Момент досягнення цього порогу визначає максимальну тривалість часу, до закінчення якого мають прийти сили реагування.

Наведемо приклади оцінювання вразливості системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців. З використанням початкових даних (табл. 1) та розробленої моделі (рис. 2) проведемо розрахунки, результати яких подано на рис. 4.

Напрямок пересування озброєних злочинців та їх місце знаходження можуть бути відомими завдяки системі відеоспостереження, що дає змогу коригувати дії особового складу резервної групи у ході вогневого зіткнення. За допомогою розробленої моделі можна проводити оцінки вразливості системи фізичного захисту ядерної установки з урахуванням параметра “Ступінь повноти огляду зони бою відеокамерами”. Наприклад, замінимо вказаний параметр у розробленій моделі з 50 % до 100% і проведемо розрахунки (див. рис. 5).

Т а б л и ц я 1

Початкові дані				
Кількість бійців резервної групи	Кількість озброєних злочинців	Ступінь повноти огляду зони бою відеокамерами (%)	Наявність захищених позицій	Наявність засобів індивідуального захисту у бійців ТГ
12	7	50	0	0

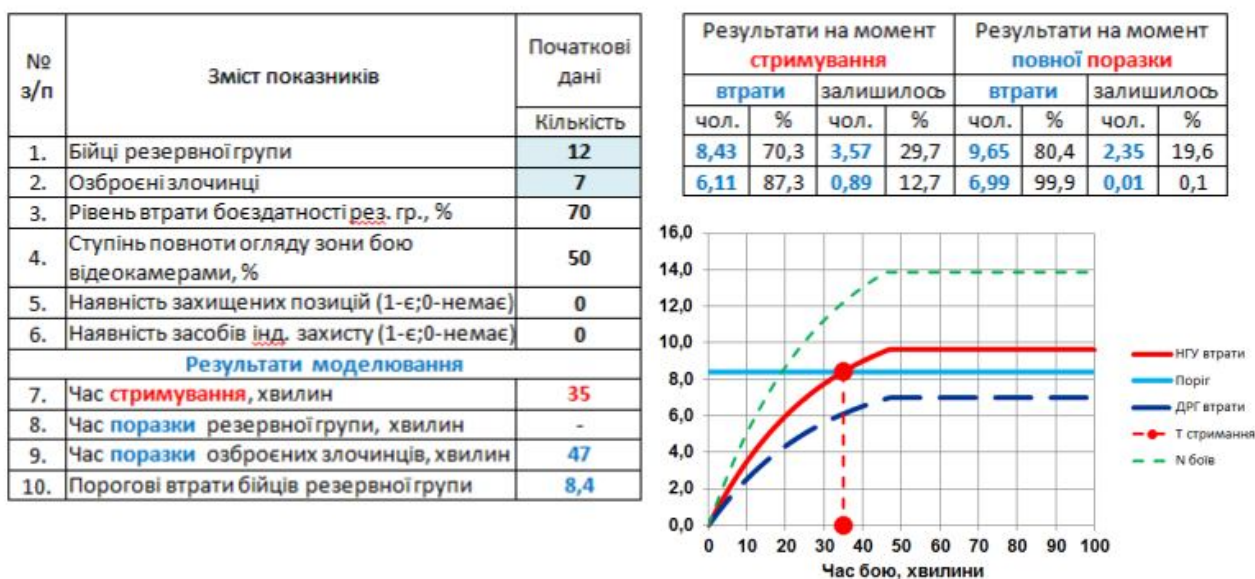


Рис. 4. Результати оцінювання вразливості системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців

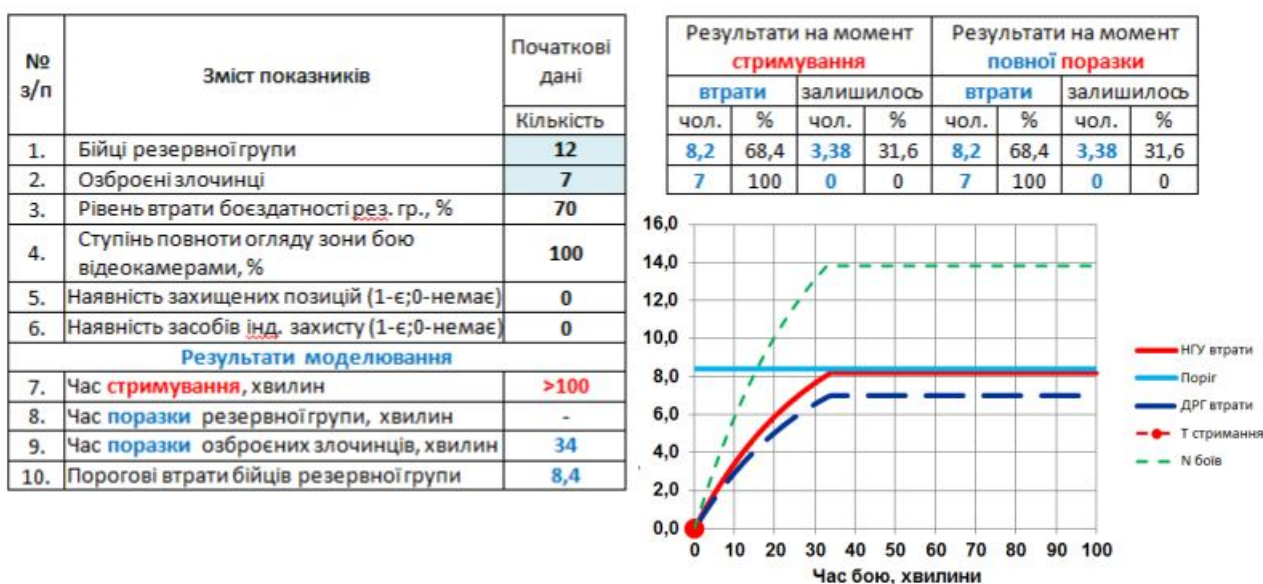


Рис. 5. Результати оцінювання вразливості системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців у разі зміни параметра “Ступінь повноти огляду зони бою відеокамерами”

Порівнявши результати (рис. 4) та (рис. 5), можна зробити висновок, що у разі виставлення по всій території ядерної установки відеокамер, які дозволяють безперервно вести спостереження та отримувати необхідну інформацію про злочинців, імовірності втрат резервної групи знижуються, і можна очікувати збільшення часу до моменту прибуття підсилення.

Висновки

Таким чином, розроблена модель дає змогу оцінити вразливість системи фізичного захисту від нападу озброєних злочинців, в якій на відміну від існуючих моделей для прогнозування результатів бою протиборчих сторін застосовано математичний апарат марковських процесів з безперервним часом і

дискретними станами та геоінформаційну систему.

Напрямок подальшого дослідження може бути розроблення методики оцінювання системи фізичного захисту ядерної установки від нападу озброєних злочинців.

Список використаних джерел

1. Ядерна енергетика [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://uk.wikipedia.org/wiki/Ядерна_енергетика. – Назва з екрана.

2. Рекомендации по физической ядерной безопасности, касающиеся радиоактивных материалов и связанных с ними установок [Текст] // Серия изданий МАГАТЭ по физической ядерной безопасности, № 14. – МАГАТЭ, 2011.

3. Конвенція про ядерну безпеку [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/995_023/page. – Назва з екрана.

4. Конвенція про фізичний захист ядерного матеріалу та ядерних установок [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/995_024. – Назва з екрана.

5. Леус, А. В. Математическая модель оценки эффективности систем физической защиты [Текст] / А. В. Леус // Т. Comm Телекоммуникации и транспорт. – 2010. – № 6. – С. 46–49.

6. Голубок, М. Г. Математична модель оцінки ступеня захищеності життєво важливих центрів атомних електричних станцій в залежності від ступеня боєздатності сил охорони [Текст] / М. Г. Голубок // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків : ХУПС, 2015. – № 3 (44). – С. 91–94.

7. Радаев, Н. В. Приближенные оценки защищенности объектов от террористических действий [Текст] / Н. В. Радаев // БДИ. – 2007. – № 3 (72). – С. 28–32.

8. Боровский, А. С. Приближенная оценка защищенности потенциально опасных объектов. Структурные параметры защищенности объектов [Текст] / А. С. Боровский, А. Д. Тарасов // Программные продукты и системы. – 2013. – № 3. – С. 235–243.

9. Описание компьютерной программы SAVI. SandiaNL, США, 1990.

10. Описание компьютерной программы ASSESS. Материалы тренинг-курса по обучению пользованию программой. LLNL, США, 1995.

11. Описание компьютерной программы “Вега-2”, ГУП СНПО “Элерон”, Минатом России, 1999.

12. Чуев, В. Ю. Стохастические модели дуэльного боя двух единиц [Текст] / В. Ю. Чуев, И. В. Дубоград // Математическое моделирование и числовой метод. – 2016. – Вып. 10. – С. 69–84.

13. Городнов, В. П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО [Текст] / В. П. Городнов. – Харьков : ВИРТА ПВО, 1987. – 380 с.

14. Страйкбол [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://ru.wikipedia.org/wiki/Страйкбол>. – Загл. с экрана.

15. Городнов, В. П. Математичне моделювання службово-бойових дій Національної гвардії [Текст] : підручник / В. П. Городнов. – Харків : НАНГУ, 2016. – 256 с.

16. Городнов, В. П. Застосування математичного апарату неповнодоступних систем масового обслуговування для моделювання бойових дій підрозділу Національної гвардії України з озброєними злочинцями [Текст] / В. П. Городнов, С. М. Сукоцько, В. В. Овчаренко // Актуальні питання освіти і науки : матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 10-11 листоп. 2017 р. – НАНГУ. – Харків : ХОГОКЗ, 2017. – С. 201–206.

17. Городнов, В. П. Модель і методика оцінки впливу елементів матеріального забезпечення на показник втрати спроможності виконання службово-бойових завдань підрозділами Національної гвардії України в особливий період [Текст] / В. П. Городнов, В. В. Власюк, В. В. Овчаренко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2016. – № 3 (48). – С. 172–181.

Стаття надійшла до редакції 12.03.2018 р.

УДК 519.876.5

В. П. Городнов, В. В. Овчаренко, С. Н. Суконько, В. Э. Лисицин

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ УЯЗВИМОСТИ СИСТЕМЫ ФИЗИЧЕСКОЙ ЗАЩИТЫ ЯДЕРНОЙ УСТАНОВКИ ОТ НАПАДЕНИЯ ВООРУЖЕННЫХ ПРЕСТУПНИКОВ

Приведена модель оценки уязвимости системы физической защиты ядерной установки от нападения вооруженных преступников, в которой для прогноза исходов боя противоборствующих сторон использованы математический аппарат марковских процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями, а также геоинформационная система.

***Ключевые слова:** ядерная установка, система физической защиты, метод аналитико-стохастического моделирования.*

UDC 519.876.5

V. P. Gorodnov, V. V. Ovcharenko, S. M. Sukonko, V. E. Lisitsin

MODEL OF EVALUATING THE VULNERABILITY OF PHYSICAL PROTECTION OF NUCLEAR INSTALLATIONS IN THE ATTACK OF ARMED CRIMINALS

In the course of construction and during operation of the nuclear power plant an assessment of the vulnerability of the physical protection system is carried out. At the same time, the ability of the security unit to prevent sabotage by armed criminals is determined.

The security unit of the nuclear power plant opposes to the attack of armed criminals by fighting. The accidental development of fire contacts, the uncertainty of data on the number of criminals, their weapons and the design of action give rise to the problem of assessing the vulnerability of the physical protection system in the event of armed criminals attacking. Therefore, the purpose of the article is to develop a model for assessing the vulnerability of the physical protection system of a nuclear installation when attacked by armed criminals.

The main under the process, which is repeated in the course of fighting an alarming group with armed criminals is a fire contact. Each of these contacts begins and ends in a previously unknown (random) time point and has a previously unknown (random) duration and consequences. In the article, the process of fire collision of the reserve group with armed criminals is modeled using the method of analytical-stochastic modeling.

The developed model allows to estimate the vulnerability of the system of physical protection during the attack of armed criminals, in which unlike the existing models for predicting the results of the battle of opposing sides, the mathematical apparatus of the Markov processes with continuous time and discrete states and the geographic information system was used.

***Keywords:** nuclear installation, physical protection, method of analytical stochastic modeling.*

Городнов Вячеслав Петрович – доктор військових наук, професор, професор кафедри управління повсякденною діяльністю Національної академії Національної гвардії України

Овчаренко Вячеслав Володимирович – кандидат військових наук, доцент, начальник факультету Національної академії Національної гвардії України

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

Лісіцин Володимир Едуардович – науковий співробітник науково-дослідного центру службово-бойової діяльності НГУ Національної академії Національної гвардії України