

- відкриті рухомі з'єднань "вилка-палець" необхідно робити закритими;

- вузол регулювання приводом керування головним фрикціоном потрібно винести в силове відділення;

По ходової частині:

- ведучі колеса МТ-ЛБу встановлювати на підшипники, що установлені на кришках бортових передач (по аналогії з 2С3М);

- зробити гребеневе зачеплення ведучого колеса із траками гусениці (по аналогії з Т-34);

- встановити додаткової амортизатори на другі (передні) опорні котки (по аналогії з танками Т-64, 72,80);

- замінити ступінчатий палець на шестигранний з установкою гумових сайлентблоків (по аналогії з 2С3);

По ергономічності:

- для обігріву механіка-водія в зимовий час виготовити і установити в районі установки підігрівника системи охолодження двигуна і маслобаку головної передачі калорифер (по аналогії з танком Т-64);

- для вентиляції силового відділення необхідно виконати примусову, керовану механіком-водієм, вентиляцію з місця механіка-водія з використанням інжектора системи випуску відпрацьованих газів (по аналогії з 2С3М).

### Висновки.

Основними напрямками модернізації СГ 2С1 та 2С3М пропонується вважати:

оснащення їх сучасними засобами зв'язку, бортовою апаратурою управління вогнем (інтегрована система навігації і топоприв'язки; бортова ЕОМ; пристрій виміру наземних атмосферних параметрів; система управління наведенням ствола), балістичною станцією;

розробка новітніх засобів заряджання з метою збільшення швидкострільності;

проведення заходів щодо технічного удосконалення базових машин.

### Список використаних джерел

1. Є.Г. Сігуткін. Перспективи розвитку бойового застосування і підвищення ефективності управління ракетними військами та артилерією Збройних сил України. Артиллерийское и стрелковое вооружение. Международный научно-технический сборник. Выпуск 2. – К., 2000, с. 26.

2. В. Русинов. Модернизация французской 155-мм самоходной гаубицы GCT. Зарубежное военное обозрение. №11 2001 г.

3. В. Русинов. Модернизация английской 155-мм гаубицы AS90. Зарубежное военное обозрение. №11 2002 г.

4. В. Русинов. Буксируемые гаубицы армий зарубежных стран и направления их развития. Зарубежное военное обозрение. №8 2002 г.

**Gorodnov V.P.**

*doctor of military sciences, professor,  
National Academy of National Guard of Ukraine*

**Ovcharenko V.V.**

*Candidate of Military Sciences, Associate Professor,  
National Academy of National Guard of Ukraine*

**Sukonko S.M.**

*Doctoral Student,  
National Academy of National Guard of Ukraine*

## THE TASKS MODELING FOR NUCLEAR POWER PLANT ACTIVE PROTECTION DURING COUNTERACTION OF TERRORIST THREAT

**Городнов Вячеслав Петрович**

*доктор военных наук, профессор,  
Национальная академия Национальной гвардии Украины*

**Овчаренко Вячеслав Владимирович**

*кандидат военных наук, доцент,  
Национальная академия Национальной гвардии Украины*

**Суконько Сергей Николаевич**

*адъютант,  
Национальная академия Национальной гвардии Украины*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАДАЧ АКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В ХОДЕ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ТЕРРОРИСТИЧЕСКОЙ УГРОЗЕ

**Summary.** A model has been developed for assessing the capabilities of the security unit to counteract the terrorist threat to elements of a nuclear power plant. In this model is used of the mathematical apparatus of Markov processes with continuous time and discrete states and an incomplete queuing system. Using these math apparatus it is possible to predict the result and duration of combat of security units of nuclear power plant with terrorist group, and take into account the combat order of the reserve group for the entire length of the blockage and

incomplete accessibility terrorists for shelling by guards. Developed by model allows opportunities evaluation of the security unit for the protection of the nuclear power plant and as a result – to assess the vulnerability of the physical protection system of a nuclear power plant in the event of a terrorist group attack.

**Аннотация.** Разработана модель оценки возможностей подразделения охраны по противодействию террористической угрозе элементам атомной электростанции. В этой модели используется математический аппарат марковских процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями, а также неполнодоступной системы массового обслуживания. С помощью определенных математических аппаратов можно спрогнозировать результат и продолжительность боя подразделения охраны атомной электростанции с террористической группой с учетом возможной структуры боевого порядка подразделения охраны на рубеже блокирования и неполной доступности террористов для обстрела бойцами подразделения охраны. Разработанная модель позволяет оценить возможности подразделения охраны атомной электростанции и, как следствие, – оценить уязвимость системы физической защиты атомной электростанции в случае нападения террористической группы.

*Key words: nuclear power plant, terrorist threat, vulnerability assessment of the physical protection system, mathematical apparatus of Markov processes with continuous time and discrete states, mathematical apparatus of incomplete queuing systems.*

*Ключевые слова: атомная электростанция, террористическая угроза, оценка уязвимости системы физической защиты, математический аппарат марковских процессов с непрерывным временем и дискретными состояниями, математический аппарат неполнодоступных систем массового обслуживания.*

**Постановка проблемы.** Во многих странах одним из основных способов производства электроэнергии является использование атомных электростанций (АЭС) [1]. Атомные электростанции могут быть объектами совершения диверсий или хищения ядерных материалов террористическими группами [2]. С целью противодействия террористическим угрозам на атомных электростанциях создаётся система физической защиты (СФЗ). Свойство СФЗ, которое определяет возможность осуществления диверсии относительно ядерной установки или возможность хищения ядерных материалов, называется уязвимостью системы физической защиты. Одним из элементов СФЗ является подразделение охраны (ПО) атомной электростанции [2]. В случае прорыва террористической группы (ТГ) на территорию АЭС это подразделение вступает в бой с бойцами ТГ с целью недопущения их к жизненно важным центрам АЭС. На помощь подразделению охраны в течение определённого времени, прибывают силы реагирования и на протяжении этого времени личному составу ПО необходимо самостоятельно вести бой с бойцами ТГ. Поэтому уязвимость системы физической защиты ядерной установки, в случае нападения террористической группы, может зависеть от численности и от уровня подготовки личного состава ПО, который будет вести бой с бойцами ТГ до момента прибытия сил реагирования.

В процессе эксплуатации атомной электростанции периодически проводится оценка возможностей подразделения охраны АЭС по противодействию террористическим угрозам. Однако, неопределенность данных о численности бойцов террористической группы, их вооружении и замысле действий, а также случайный исход боя подразделения охраны АЭС с террористами порождает проблему оценки возможностей ПО при противодействии террористической угрозе. С целью решения отмеченной проблемы может быть

разработана модель для оценки возможностей подразделения охраны атомной электростанции при противодействии террористической угрозе, что делает тему статьи актуальной.

Анализ последних исследований и публикаций. Наиболее близкими к данной задаче являются публикации [3 – 15]. В статьях [3 – 5] авторами при оценке защищенности объектов от террористических действий рассчитывается вероятность результатов огневого столкновения с помощью коэффициентов преимущества личного состава подразделения охраны над вооруженными преступниками по количественному соотношению сил, вооруженности и подготовленности, которые определяются экспертами. Использование экспертных оценок может негативно влиять на достоверность результатов прогноза в силу отсутствия статистики реальных случаев нападений на АЭС в современных постоянно меняющихся условиях.

Авторами работ [6, 7] при оценке эффективности системы физической защиты внимания сосредоточено на определении времени опережения преступников подразделением охраны: если силы охраны прибывают к объекту защиты раньше правонарушителей, то считается, что правонарушители обезврежены, а СФЗ является эффективной. Отсутствие учёта вероятных результатов огневого столкновения сил охраны с правонарушителями может привести к неверной оценке эффективности системы физической защиты объекта.

В работах [8 – 15] и в компьютерных программах [16 – 19] основной целью является оценка уязвимости системы физической защиты атомной электростанции. При этом случайные результаты огневого противоборства сторон не рассматриваются, что снижает уровень достоверности получаемых оценок. Одновременно, отмеченные, а также другие работы не позволяют получать оценки ожидаемой продолжительности

боя личного состава подразделения охраны АЭС с террористами, что не позволяет ответить на центральный вопрос определения способности подразделения охраны защитить элементы АЭС до момента прибытия сил реагирования.

Поэтому возникает потребность в разработке модели, которая позволяла бы выполнить прогноз результатов и продолжительности боя подразделения охраны с террористами, и как следствие, оценить уязвимость системы физической защиты атомной электростанции от нападения террористической группы.

Целью статьи является разработка модели для оценки возможностей подразделения охраны по противодействию террористической угрозе элементам АЭС.

Изложение основного материала. В процессе разработки модели оценки возможностей подразделения охраны по противодействию террористической угрозе, схема которой представлена на рис. 1, приняты следующие гипотезы и допущения:

а) гипотезы:

– результатом каждого огневого контакта (боя) каждого бойца подразделением охраны с террористом может быть не только уничтожение террориста, но и поражение бойца ПО, результат боя случайный, поэтому заранее не известный;

– террористы в ходе боя стремятся выйти из зон огня сил охраны и в таких зонах не

накапливаются по причинам безопасности и ограниченного запаса боекомплекта;

– каждый огневой контакт развивается во времени как случайный процесс, интервалы между огневыми контактами случайны и могут иметь показательное распределение;

б) допущения:

– в состав подразделения охраны входят наиболее опытные бойцы, их уровень подготовки является достаточным для выполнения задач и примерно одинаковый;

– условия огневых контактов примерно одинаковы, поэтому вероятности результатов боев также примерно одинаковы и не изменяются в ходе реализации огневых контактов;

– в состав террористической группы входят наиболее подготовленные боевики и их уровень подготовки также примерно одинаковый;

– время занятия рубежа блокирования личным составом подразделения охраны меньше или равно времени достижения боевиками террористической группы жизненно важных центров объекта, поэтому при расчетах не учитывается.

Система физической защиты ядерной установки включает: инженерно-технические средства (ИТС), подразделение охраны и силы реагирования [2]. В случае срабатывания ИТС личный состав ПО выдвигается на рубеж

Блок 1. Определение: численности  $n_{по}$  подразделения охраны АЭС; вероятного количества  $N_{т.гр}$  боевиков ТГ; значения площади  $Z_{\gamma}$  зоны обстрела с  $\gamma$  кратным перекрытием зон поражения личного состава ПО; значения суммарной анализируемой площади  $Z$  пространства местности в районе рубежа блокирования; вероятности  $P_{ун}$  **уничтожение террориста**; вероятности  $P_{пор}$  **поражения бойца подразделения охраны**

Блок 2. Моделирование процесса действий подразделения охраны с учётом неполной доступности террористов для обстрела силами охраны

$$\Pi_{\gamma} = \frac{Z_{\gamma}}{Z}, \gamma = 0, \dots, n_{по}, (1) \quad C_3 = \sum_{\gamma=1}^n \gamma \cdot \Pi_{\gamma}, (2) \quad C_3 = \sum_{\gamma=1}^n \gamma \cdot L_{\gamma} = \frac{\Pi_{\gamma}}{\xi_{\gamma}}, (3)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_0 &= -n \cdot \alpha_1 \cdot P_0 + \mu \cdot P_1 \\ \dot{P}_k &= -[n - k] \cdot \alpha_{k+1} \cdot P_k + [k + 1] \cdot \mu \cdot P_{k+1} \end{aligned} \right\}, (4) \quad \alpha_k = \sum_{j=1}^n L_j \cdot \sum_{i=1}^j \frac{1}{i} \cdot C_{k-1}^{j-1} \cdot C_{n-k}^{i-1}, (5)$$

$$\left. \begin{aligned} P_0 &= \left[ \sum_{k=1}^n \frac{\rho^k}{k!} \cdot f_k \right]^{-1} \\ P_k &= P_0 \cdot \frac{\rho^k}{k!} \cdot f_k, k = \overline{1, n_{по}} \end{aligned} \right\}, (6) \quad f_k = \prod_{i=1}^k \alpha_i \cdot [n + 1 - i], k = \overline{1, n_{по}}, (7)$$

$$M^{нпд} = \sum_{k=0}^{n_{по}} k \cdot P_k, (8) \quad P_{обс}^{нпд} = \mu \cdot \frac{M^{нпд}}{I}, (9) \quad K_y = \frac{P_{обс}^{нпд}}{P_{обс}^{пд}}, (10)$$

Блок 3. Моделирование процесса действий подразделения охраны при противодействии боевикам террористической группы

$$I = \frac{N_{т.гр}}{t_{обс}}, (11) \quad I_{обн} = I \cdot P_{обн}, (12) \quad I_{н.обн} = I \cdot [1 - P_{обн}] \cdot P_{пор}, (13) \quad I = \frac{N_{т.гр}}{n_{по} \cdot t_{обс}}, (14)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_0 &= -I_{пор} \cdot M[j/i = 0] \cdot P_0 \\ \dot{P}_k &= -I_{пор} \cdot M[j/i = k] \cdot P_k + I_{пор} \cdot M[j/i = \{k - 1\}] \cdot P_{k-1}, 0 \leq k \leq n_{по} \\ \dot{P}_{n_{по}} &= I_{пор} \cdot M[j/i = \{n_{по} - 1\}] \cdot P_{n_{по}-1} \end{aligned} \right\}, (15)$$

$$\left. \begin{aligned} \dot{P}_0 &= \eta_k \cdot P_0 \\ \dot{P}_k &= -\eta_k \cdot P_k + \eta_{k-1} \cdot P_{k-1}, 0 \leq k \leq n_{по} \\ \dot{P}_{n_{по}} &= \eta_{n_{по}-1} \cdot P_{n_{по}-1} \end{aligned} \right\}, (16)$$

$$P_0[t] = e^{-\eta_0 t}, (17) \quad R_k[t] = \frac{(\eta t)^k}{k!} \cdot e^{-\eta t}, (18) \quad n_{пор}[t] = \sum_{k=0}^{n_{по}} k \cdot R_k[t], (19)$$

$$N_{ун}[t] = n_{пор}[t] \cdot \frac{P_{ун}}{P_{пор}}, (20) \quad \theta = t_{по} \geq t_{сил.р.}, (21)$$

Рис. 1 – Схема модели для оценки возможностей подразделения охраны по противодействию террористической угрозе

блокирования и занимает огневые позиции с целью недопущения террористов к жизненно важным центрам объекта. При размещении на огневых позициях на рубеже блокирования бойцы подразделения охраны имеют ограниченную, индивидуальную для каждого, зону возможного поражения противника. В связи с разным расстоянием между огневыми позициями бойцов и

наличием на территории объекта зданий, сооружений, других препятствий для ведения огня, в общей зоне обстрела на рубеже блокирования существуют области с  $\gamma$ -м перекрытием зон поражения противника бойцами подразделения охраны, которые (зоны) имеют номера  $i_1, \dots, i_{\gamma}$  (с  $\gamma$ -й слойностью зон поражения). Слойность таких областей может быть от однократной до

максимальной, которая будет соответствовать количеству бойцов подразделения охраны  $n_{по}$  (в случае размещения огневых позиций бойцов друг возле друга). При попадании террориста в такую область его обстрел возможен любым из бойцов этой области. В общей зоне обстрела на рубеже блокирования, областей с  $\gamma$ -й слойностью может быть несколько ( $\xi\gamma$ ), при этом некоторые зоны поражения противника бойцами ПО будут формировать различные  $\xi\gamma$  области. С целью расчёта коэффициента участия бойцов подразделения охраны в огневых контактах моделирование боя осуществляется с использованием математического аппарата неполнодоступных систем массового обслуживания (СМО) [20, 21], что позволяет учитывать неполную доступность террористов для обстрела силами охраны и может снижать эффективность выполнения задачи бойцами ПО. Так, определив численность  $n_{по}$  подразделения охраны АЭС и вероятное количество  $N_{т.гр}$  боевиков террористической группы, а также с помощью технологии геоинформационных систем оценив значение площади  $Z\gamma$  зоны обстрела с  $\gamma$  кратным перекрытием зон поражения террористов личным составом ПО и значение суммарной анализируемой площади  $Z$  пространства местности в районе рубежа блокирования [рис 1, блок 1], находится вероятность  $P\gamma$  того, что боевик террористической группы окажется доступным для обстрела ровно  $\gamma$  бойцам подразделения охраны [рис. 1, блок 2, выражение (1)]. Затем рассчитывается средняя слойность  $S_3$  зоны обстрела [рис. 1, блок 2, выражение (2)], которая характеризует среднее количество бойцов подразделения охраны, которым будут доступны террористы на рубеже блокирования, а также находится вероятность  $L\gamma$

доступности следующих террористов для обстрела любой подгруппе из  $\gamma$  бойцов ПО [рис. 1, блок 2, выражение (3), где  $\xi\gamma$  – численность подгрупп из  $n_{по}$  бойцов в составе подразделения охраны на рубеже блокирования]. Из системы дифференциальных уравнений процесса обслуживания в неполнодоступной системе массового обслуживания [рис. 1, блок 2, выражение (4), где  $P_0, P_k$  – финальные вероятности групповых состояний;  $a_k$  – интенсивность перехода по ребрам графа процесса обслуживания в неполнодоступной системе массового обслуживания (5)] находятся уравнения для финальных вероятностей групповых состояний [рис. 1, блок 2, выражение (6), где  $f_k$  – функция неполнодоступности (7)]. На следующем шаге моделирования находится математическое ожидание числа каналов занятых обслуживанием [рис. 1, блок 2, выражение (8), где  $P_k$  – вероятность того, что будут заняты  $k$  каналов,  $k = \overline{1, n_{по}}$  и соответственно вероятность  $P_{обс}^{нпд}$  обслуживания требований в неполнодоступной системе массового обслуживания [рис. 1, блок 2, выражение (9), где  $\mu$  – интенсивность обслуживания,  $I$  – интенсивность потока требований]. Коэффициент  $K\gamma$  участия бойцов подразделения охраны в огневых контактах находится из соотношения вероятности  $P_{обс}^{нпд}$  обслуживания потока целей в неполнодоступной системе массового обслуживания к вероятности  $P_{обс}^{пд}$  обслуживания того же потока целей в аналогичной полнодоступной системе [рис. 1, блок 2, выражение (10)].

На основании зависимости коэффициента участия  $K\gamma$  от параметра загрузки каналов  $\rho = \frac{I}{n \cdot \mu}$  и от средней слойности  $S_3$  зоны обстрела построен график [рис. 2], который позволяет оперативно находить значения отмеченного коэффициента  $K\gamma$ .

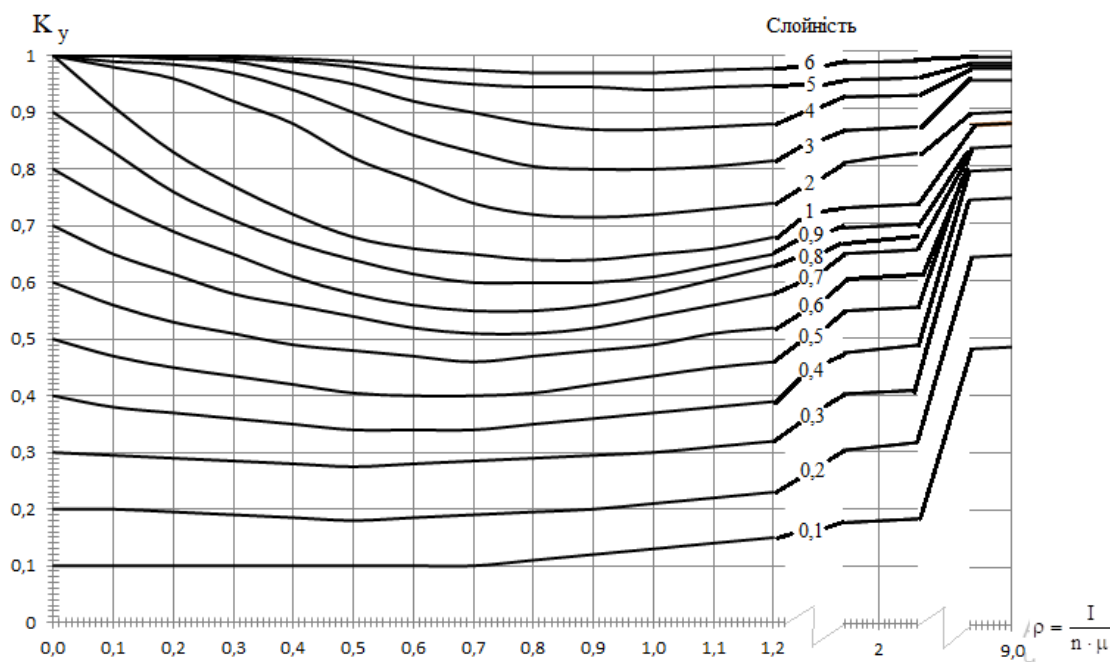


Рис. 2. График зависимости коэффициента участия  $K\gamma$  от параметра загрузки каналов  $\rho$  и от средней слойности зоны обстрела  $S_3$

В случае огневого столкновения бойцов подразделения охраны с боевиками террористической группы основным повторяющимся под процессом является огневой контакт. Каждый из таких контактов начинается и заканчивается в заранее неизвестный (случайный) момент времени и имеет заранее неизвестную (случайную) продолжительность и последствия. При этом, особенностями огневых контактов (боя) является его скоротечность и непредсказуемость.

Поэтому результатами каждого огневого контакта могут быть: **уничтожение террориста** (с вероятностью  $P_{ун}$ ); не **уничтожение террориста** (с вероятностью  $1 - P_{ун}$ ); **поражение бойца подразделения охраны** (с вероятностью  $P_{пор}$ ); не **поражение бойца ПО** (с вероятностью  $1 - P_{пор}$ ); любая из комбинаций первых четырех результатов.

Предположим, что огневые контакты бойца подразделения охраны возникают поочередно

только с одним боевиком террористической группы. Перечислим все существенные для целей моделирования возможные состояния процесса боя бойца ПО. Для обозначения состояний используем символ  $S$  (от англ. state – состояние), который дополним индексами  $S_{ij}$ . Первый индекс  $i$  используется для обозначения количества пораженных в этом состоянии бойцов ПО, второй индекс  $j$  – для обозначения количества боевиков ТГ, по которым ведется огонь в этом состоянии.

Тогда, учитывая возможность обстрела и обезвреживания террористов, выделяются три основных состояния бойца ПО [рис. 3] в процессе боя:

- $S_{00}$  – не поражён, свободен;
- $S_{01}$  – не поражён, обстреливает одного террориста;
- $S_{10}$  – поражён, террористов не обстреливает.

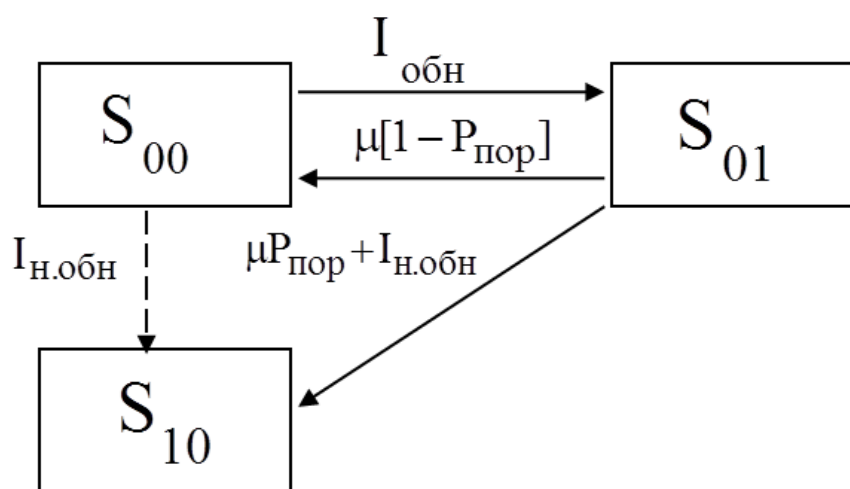


Рис. 3 – Граф аналитико-стохастической модели боя бойца подразделения охраны с террористами

Переход из состояния  $S_{00}$  в состояние  $S_{01}$  возможен в случае обнаружения террориста на маршруте движения бойца подразделения охраны. Частота таких переходов будет зависеть от интенсивности  $I$  возможных встреч бойца ПО с террористами [интенсивность возможных огневых контактов], значение которой можно приблизительно оценить выражением (11) [рис. 1, блок 3], где  $N_{т.гр}$  – вероятное количество боевиков террористической группы;  $t_{боя}$  – ожидаемое значение времени (продолжительности) боя. Своевременное выявление террориста не является достоверным событием, и может быть оценено вероятностью  $P_{обн}$  обнаружения. Тогда интенсивность  $I_{обн}$  перехода процесса из состояния  $S_{00}$  в состояние  $S_{01}$  будет равняться произведению начальной интенсивности  $I$  на вероятность  $P_{обн}$  обнаружения террориста [рис. 1, блок 3, выражение (12)]. При обнаружении террориста огневой контакт может закончиться поражением бойца ПО [переход из состояния  $S_{01}$  в состояние  $S_{10}$ ] или

может иметь благоприятный для бойца ПО результат, что соответствует переходу из состояния  $S_{01}$  в  $S_{00}$  [рис. 3]. Кроме того, поражение бойца ПО может наступить (переход из состояния  $S_{00}$  в состояние  $S_{10}$ ) в случае несвоевременного обнаружения (не обнаружения вообще) террориста, который спрятался или обошел и атаковал бойца ПО сзади. Переход из состояния  $S_{00}$  в состояние  $S_{10}$  будет определяться интенсивностью  $I_{н.обн}$  не обнаружения террориста бойцом ПО, значение которой можно приблизительно оценить формулой (13) [рис. 1, блок 3], где  $P_{пор}$  – вероятность поражения бойца подразделения охраны.

Для грубой оценки результатов боя подразделения охраны с террористической группой модель боя группы можно заменить совокупностью моделей боя отдельных бойцов ПО, а общий результат найти как сумму результатов их боев. Однако в таком случае явно занижается оценка количества обстрелянных и уничтоженных террористов, так как остается не учтенным эффект

увеличения системной производительности, которая существует благодаря демпфированию неравномерностей входного потока боевиков террористической группы в фактически многоканальном боевом порядке подразделения охраны, когда в случае занятости одного бойца ПО, с другим террористом может вступить в бой другой, свободный боец ПО. Поэтому граф модели боя подразделения охраны примет вид, представленный на рис. 4а.

В этом случае индексы возможных состояний процесса боя подразделения охраны  $S_{ij}$  могут принимать значения  $0 \leq i \leq n_{по}$ ;  $0 \leq j \leq n_{по}$ . Первый индекс  $i$  – количество пораженных бойцов ПО, второй  $j$  – количество огневых контактов, которые

одновременно ведутся в этом состоянии. Интенсивности различных потоков событий обозначены следующим образом:  $I_{обн}$  – выявление террористов;  $I_{н.пор} = \mu \cdot [1 - P_{пор}]$  – благополучного для бойца ПО результата огневых контактов (не поражения бойца ПО);  $I_{пор} = \mu P_{пор} + P_{н.обн}$  – поражения бойца ПО в ходе огневых контактов;  $I_{н.обн}$  – безнаказанное поражение бойца ПО в случае несвоевременного обнаружения (не обнаружения вообще) террориста.

При этом интенсивность  $I$  возможных огневых контактов находится выражением (14) [рис. 1, блок 3].

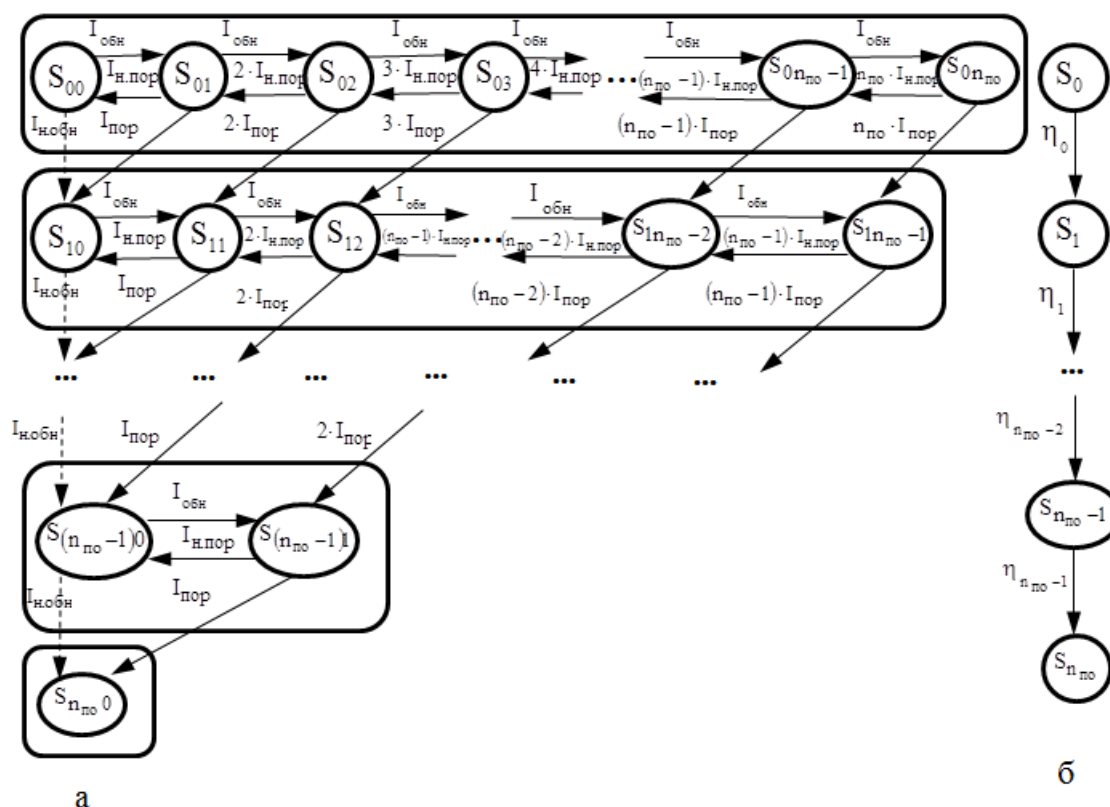


Рис. 4 – Граф модели боя подразделения охраны: а – начальный; б – эквивалентный

С использованием правила контуров [20], исходную модель боя подразделения охраны [рис. 4а] можно преобразовать в эквивалентную модель [рис. 4б] и для этой модели найти систему дифференциальных уравнений [рис. 1, блок 3, выражение (15), где  $M[j/i=k]$  – условное математическое ожидание числа бойцов ПО, занятых боем, при условии, что поражено ровно  $k$  бойцов].

С целью учета структуры боевого порядка подразделения охраны по всей протяжённости рубежа блокирования и неполной доступности боевиков террористической группы для обстрела бойцами ПО, условное математическое ожидание  $M[j/i=k]$  числа бойцов ПО, занятых боем, умножается на коэффициент  $K_y$  участия бойцов ПО

в бою. В системе дифференциальных уравнений (15) введено обозначение интенсивности ( $\eta_k = I_{пор} \cdot M[j/i=k] \cdot K_y$ ) перехода из группового состояния  $S_{i=k}$ , в групповое состояние  $S_{i=k+1}$  (рис. 4б), где  $k$  – количество пораженных бойцов подразделения охраны в бою с ТГ. В конечном итоге получена система дифференциальных уравнений (16) [рис. 1, блок 3] для модели боя подразделения охраны с террористической группой. В результате решения системы (16) получены уравнения (17), (18) [рис. 1, блок 3] для вероятностей  $P_k$  поражения ровно  $k$  бойцов ПО в бою с ТГ.

Математические ожидания числа  $n_{пор}(t)$  пораженных бойцов ПО и числа  $N_{ун}(t)$  уничтоженных боевиков ТГ находятся

соответственно выражением (19) [рис. 1, блок 3], где  $P_k$  – вероятность поражения ровно  $k$  бойцов ПО,  $k = \overline{1, n_{\text{по}}}$ , и выражением (20) [рис. 1, блок 3], где  $P_{\text{ун}}$  – вероятность **уничтожение террориста в одном огневом контакте**;  $P_{\text{пор}}$  – вероятность **поражения бойца ПО в одном огневом контакте**.

$$n_{\text{пор}}[t] = \begin{cases} n_{\text{пор}}[t] < 0,2n_{\text{по}} & \text{– боееспособное ПО;} \\ 0,2n_{\text{по}} \leq n_{\text{пор}}[t] < 0,5n_{\text{по}} & \text{– ограничено боееспособное ПО;} \\ 0,5n_{\text{по}} \leq n_{\text{пор}}[t] < 0,7n_{\text{по}} & \text{– частично боееспособное ПО;} \\ n_{\text{пор}}[t] \geq 0,7n_{\text{по}} & \text{– не боееспособное ПО,} \end{cases} \quad (22)$$

время, при котором математическое ожидание числа  $n_{\text{пор}}(t)$  пораженных бойцов ПО достигнет значения  $0,7n_{\text{по}}$ , определяет максимальную продолжительность  $t_{\text{по}}$  недопущения бойцами ПО террористов к жизненно важным центрам АЭС. Соответственно, силы реагирования должны прибыть до истечения времени  $t_{\text{по}}$ .

Устойчивость системы физической защиты АЭС, в случае нападения ТГ, может зависеть от времени  $t_{\text{сил.р.}}$  прибытия сил реагирования и продолжительности  $t_{\text{по}}$  недопущения бойцами ПО террористов к жизненно важным центрам АЭС. Поэтому, используя критерий устойчивости  $\theta$  системы физической защиты [рис. 1, блок 3, выражение (21)] оценивается устойчивость СФЗ атомной электростанции, в случае нападения террористической группы. Если время  $t_{\text{по}}$  недопущения бойцами ПО террористов к жизненно важным центрам АЭС будет больше времени  $t_{\text{сил.р.}}$  прибытия сил реагирования, то можно сделать вывод, что система физической защиты АЭС устойчива, в случае нападения ТГ.

**Выводы и предложения.** Таким образом, разработанная модель [(1) – (21)] [рис. 1] для оценки возможностей подразделения охраны по противодействию террористической угрозе элементам атомной электростанции позволяет оценивать ожидаемые потери подразделения охраны и террористической группы, продолжительность боя бойцов ПО с боевиками ТГ и, как следствие, – оценить устойчивость системы физической защиты АЭС, в случае нападения ТГ. В отличие от известных работ, связанных с оценкой СФЗ атомных электростанций, использование в разработанной модели математического аппарата неполнодоступных систем массового обслуживания позволяет, в ходе выполнения оценок, учитывать структуру боевого порядка подразделения охраны на рубеже блокирования и неполную доступность террористов для обстрела бойцами ПО.

Направлением для дальнейших исследований может быть разработка методики оценки уровня уязвимости системы физической защиты ядерной установки, в случае нападения террористической группы.

Подразделение охраны, при недопущении террористов к жизненно важным центрам АЭС, должно быть боееспособным в течение времени, которое необходимо для прибытия сил реагирования. В соответствии с известным уровнем потерь [22, 23]:

### Список литературы

1. Атомная энергетика по странам URL : [https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная\\_энергетика\\_по\\_странам](https://ru.wikipedia.org/wiki/Атомная_энергетика_по_странам).
2. Nuclear Security Recommendations on Physical Protection of Nuclear Material and Nuclear Facilities, Int. Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 2011. URL : [https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1481\\_web.pdf](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1481_web.pdf).
3. Радаев Н. В. Приближённые оценки защищенности объектов от террористических действий / Н. В. Радаев // Безопасность. Достоверность. Информация. – 2007. – № 3 (72). – С. 28–32.
4. Боровский А.С. Приближённая оценка защищенности потенциально опасных объектов / А. С. Боровский, А. Д. Тарасов // Структурные параметры защищенности объектов. Программные продукты и системы. – 2013. – № 3. – С. 235–243.
5. Радаев Н. В. Террористическая угроза: количественная оценка для конкретного объекта / Н. В. Радаев // Вопросы анализа риска. – 2007. – № 3. – С. 12–16.
6. Леус А. В. Математическая модель оценки эффективности систем физической защиты / А. В. Леус // Т–Comm–Телекоммуникации и транспорт. – 2010. – № 6. – С. 46–49.
7. Голубок М. Г. Математическая модель оценки степени защищенности жизненно важных центров атомных электростанций в зависимости от степени боееспособности сил охраны / М. Г. Голубок // Сборник научных трудов Харьковского университета Воздушных Сил. – 2015. – № 3 (44). – С. 91–94.
8. Степанов Б. П. Основы проектирования систем физической защиты ядерных объектов / Б. П. Степанов, А. В. Годових // Томск : Томский политехнический институт. – 2009. – уч. – 118 с.
9. Бондарев В. П. Физическая защита ядерных объектов / В. П. Бондарев и другие // Москва : МИФИ. – 2008. – уч. – 584 с.
10. Wadoud A. A. Physical protection evaluation process for nuclear facility via sabotage scenarios / A. A. Wadoud, A. S. Adail, A. A. Saleh // Alexandria Engineering Journal. – 2018. – No. 57. – С. 831 – 839.
11. Mansour A. E., Wadoud A. A. Evaluation and upgrading of physical protection system of a hypothetical nuclear facility sabotage threat, in: Ninth



International Conference, Faculty of Engineering, Al-Azhar University, Nasr City, Cairo, Egypt, 2007.

12. Williams J. D. Physical Protection System Design and Evaluation, IAEA-CN-68/29, Vienna, 10–12 November 1997.

13. G. Bunn, F. Steinhausler, L. Zaitseva, Report: Strengthening Nuclear Security against Terrorists and Thieves through Beltter Training, Stanford University-CISAC Project, USA, 2001.

14. M. L. Garcia, The Design and Evaluation of Physical Protection System, Butterworth-Heinemann, Elsevier Science, USA, 2001.

15. N. I. Zakariya, M.T.E. Kahn, Safety, security and safeguard, Ann. Nucl. Energy 75 (2015) 292–302.

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

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

18. Описание компьютерной программы «Вега-2». ГУП СНПО «Элерон», Минатом. Россия, 1999.

19. Описание компьютерной программы «Оценка уязвимости». ДП НАЕК «Энергоатом». Украина, 2014.

20. Городнов В. П. Моделирование боевых действий частей, соединений и объединений войск ПВО / В. П. Городнов // X. : ВИРТА ПВО. – 1987. – уч. – 380 с.

21. Городнов В. П. Применение математического аппарата неполнодоступных систем массового обслуживания для

моделирования боевых действий подразделения Национальной гвардии Украины с вооруженными преступниками / В. П. Городнов, С. Н. Суконько, В. В. Овчаренко // Сборник научных статей. НАНГУ. – 2017. – С. 201–206.

22. Городнов В. П. Геоинформационная модель информационно-аналитического обеспечения процессов охраны важных государственных объектов в случае нападения вооруженных преступников / В. П. Городнов, А. А. Побережный, С. Н. Суконько // Сборник научных трудов Национальной академии Государственной пограничной службы Украины. Серия: военные и технические науки. – 2019. – № 1 (79). – С. 34–47.

22. Городнов В. П. Модель и методика оценки влияния элементов материального обеспечения на показатель потери способности выполнения служебно-боевых задач подразделениями Национальной гвардии Украины в особый период / В. П. Городнов, В. В. Власюк, В. В. Овчаренко // Сборник научных трудов ХУВС. – 2016. – № 3 (48). – С. 172–181.

23. Городнов В. П. Показатель и критерий оценки влияния уровня финансового обеспечения на возможности соединений Национальной гвардии Украины. В. П. Городнов, С. А. Павленко, В. В. Овчаренко. Сборник научных трудов Национальной академии Государственной пограничной службы Украины, серия: военные и технические науки. – 2016. – № 1 (67). – С 52–64.