

УДК 629.735.33

ПОДХОД К ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛУЖБЫ АВИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВИАПРЕДПРИЯТИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕЙ ПЕТРИ

Б.В. ЗУБКОВ, В.В. ЮДАЕВ, Ю.А. ВЕРБИЦКИЙ

В статье рассматривается подход к оценке временных показателей функционирования службы авиационной безопасности авиапредприятия с учетом приведения его в различные уровни безопасности для обеспечения требуемой степени защищенности от непосредственных и прямых угроз совершения акта незаконного вмешательства в деятельность авиатранспортного комплекса с использованием сетей Петри.

Ключевые слова: сети Петри, авиационная безопасность, акт незаконного вмешательства.

Результативное и эффективное использование имеющихся на авиапредприятии ресурсов (в первую очередь физических, технических, организационных) для предотвращения и нейтрализации актов незаконного вмешательства (АНВ) в его деятельность является важнейшей задачей службы авиационной безопасности (САБ) этого авиапредприятия.

В настоящее время при моделировании сложных организационно-технических систем все большее применение находят сети Петри.

Существуют три эквивалентных способа задания сети Петри: аналитический, графический и матричный.

Построение моделей систем в виде сетей Петри связано со следующими действиями [3]:

- моделируемые процессы (явления), совершающиеся в системе, описываются множеством событий и условий, которыми эти события определяют, а также причинно-следственными отношениями, устанавливаемыми на множестве «события-условия»;
- определяются события – действия, последовательность наступления которых управляется состояниями системы. Состояния системы задаются множеством условий;
- условия могут выполняться и не выполняться. Только выполнение условий обеспечивает возможность наступления событий;
- после того, как событие наступило, будет обеспечено выполнение других условий.

Математический аппарат сетей Петри и их применение в моделировании подробно описаны в [1-4].

На сегодняшний день существует ряд программных продуктов, позволяющих проводить моделирование систем в режиме реального времени с помощью сетей Петри. Из них выделяется CPN Tools, поскольку только эта моделирующая система в полной мере поддерживает иерархические временные раскрашенные сети Петри [3].

Не вдаваясь в подробности, рассмотрим в общем виде процесс нейтрализации службой АБ чрезвычайной ситуации, связанной с АНВ с помощью маркированной сети Петри (рис. 1).

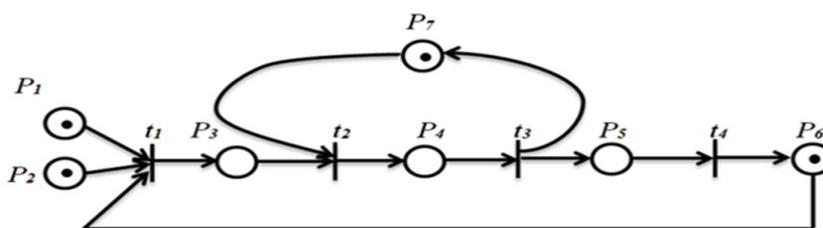


Рис. 1. Сеть Петри (с начальной маркировкой), моделирующая процесс нейтрализации АНВ на авиапредприятии

Обозначим следующие события и условия.

События: t_1 – произошел АНВ; t_2 – начало нейтрализации АНВ; t_3 – завершение нейтрализации АНВ; t_4 – переход авиапредприятия к нормальному режиму функционирования.

Условия: p_1 – наличие угрозы совершения АНВ; p_2 – наличие уязвимости в системе безопасности авиапредприятия; p_3 – АНВ не нейтрализован; p_4 – осуществляется нейтрализация АНВ; p_5 – АНВ нейтрализован; p_6 – авиапредприятие находится в нормальном (штатном) режиме функционирования; p_7 – САБ готова приступить к нейтрализации АНВ.

Аналитически [2] данную маркированную сеть Петри представим в следующем виде: $M = (P, T, I, O, \mu)$, где P – множество позиций; T – множество переходов; I – входная функция; O – выходная функция; μ – маркировка сети.

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7\}; T = \{t_1, t_2, t_3, t_4\};$$

$$I: P \rightarrow T^\infty \text{ и } O: P \rightarrow T^\infty;$$

$$I(p_3) = \{t_1\}; I(p_4) = \{t_2\}; I(p_5) = \{t_3\}; I(p_6) = \{t_4\}; I(p_7) = \{t_3\};$$

$$O(p_1) = \{t_1\}; O(p_2) = \{t_1\}; O(p_3) = \{t_2\}; O(p_4) = \{t_3\}; O(p_5) = \{t_4\};$$

$$O(p_6) = \{t_1\};$$

$$I(t_1) = \{p_1, p_2, p_6\}; I(t_2) = \{p_3, p_7\}; I(t_3) = \{p_4\}; I(t_4) = \{p_5\};$$

$$O(t_1) = \{p_3\}; O(t_2) = \{p_4\}; O(t_3) = \{p_5, p_7\}; O(t_4) = \{p_6\}.$$

Данная сеть Петри работает следующим образом. При начальной маркировке $\mu_0 = (1, 1, 0, 0, 0, 1, 1)$ разрешенным является только переход t_1 , так как в его входных позициях p_1, p_2 и p_6 имеется по одной фишке, что свидетельствует о наличии угрозы АНВ, уязвимости в системе безопасности авиапредприятия и нахождении авиапредприятия в нормальном (штатном) режиме функционирования. Переход t_1 срабатывает (произошел АНВ), фишки из его входных позиций p_1 и p_2 удаляются и одна фишка помещается в позицию p_3 (АНВ происходит и еще не нейтрализован). Теперь разрешенным является переход t_2 (в его входных позициях p_3 и p_7 имеется по одной фишке). Фишка в позиции p_7 свидетельствует о готовности САБ к нейтрализации АНВ. При срабатывании перехода t_2 (начало нейтрализации АНВ) фишки удаляются из позиций p_3, p_7 и одна фишка помещается в позицию p_4 (идет нейтрализация АНВ). Следующим разрешенным является переход t_3 (фишка в позиции p_4). Срабатывание перехода t_3 свидетельствует об окончании нейтрализации АНВ, при этом фишка удаляется из p_4 и по одной фишке помещаются в позиции p_5 и p_7 (АНВ нейтрализован и САБ снова готова к действиям). Далее разрешенным является переход t_4 . Его срабатывание соответствует переходу авиапредприятия к нормальному (штатному) режиму функционирования. Фишка удаляется из позиции p_5 и помещается в позицию p_6 (авиапредприятие находится в штатном режиме функционирования).

Обозначим следующие события и условия для САБ.

События: t_1 – начало перехода в уровень безопасности № 2; t_2 – конец перехода в уровень безопасности № 2; t_3 – начало перехода в уровень безопасности № 3 (из уровня № 2); t_4 – конец перехода в уровень безопасности № 3 (из уровня № 2); t_5 – начало перехода в уровень безопасности № 3 (из уровня № 1); t_6 – конец перехода в уровень безопасности № 3 (из уровня № 1); t_7 – поступление команды от ДЛ на установление уровня безопасности № 2; t_8 – поступление команды от ДЛ на установление уровня безопасности № 3; t_9 – доклад ДЛ о переходе в уровень безопасности № 2; t_{10} – доклад ДЛ о переходе в уровень безопасности № 3.

Условия: p_1 – САБ находится в уровне безопасности № 1; p_2 – САБ переходит в уровень безопасности № 2; p_3 – САБ находится в уровне безопасности № 2; p_4 – САБ переходит в уровень безопасности № 3 (из уровня № 2); p_5 – САБ переходит в уровень безопасности № 3 (из уровня № 1); p_6 – САБ находится в уровне безопасности № 3; p_7 – ДЛ руководит САБ при установлении различных уровней безопасности; p_8 – идет доведение команды на установления уровня безопасности № 2 до сотрудников САБ; p_9 – идет доведение команды на установления

уровня безопасности № 3 до сотрудников САБ; p_{10} – идет доклад ДЛ о переходе на уровень безопасности № 2; p_{11} – идет доклад ДЛ о переходе на уровень безопасности № 3.

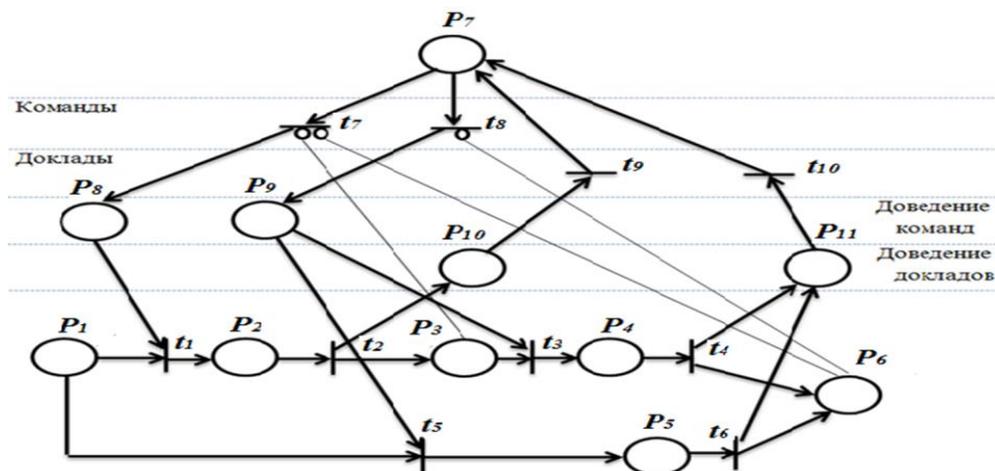


Рис. 2. Сеть Петри, моделирующая процесс приведения САБ в высшие уровни безопасности

Аналитически данная маркированная сеть Петри может быть представлена в следующем виде: $M = (P, T, I, O, \mu)$,

$$P = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8, p_9, p_{10}, p_{11}\}; T = \{t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}, t_{11}\};$$

$$I: P \rightarrow T^\infty \text{ и } O: P \rightarrow T^\infty;$$

$$I(p_2) = \{t_1\}; I(p_3) = \{t_2\}; I(p_4) = \{t_3\}; I(p_5) = \{t_5\}; I(p_6) = \{t_4, t_6\};$$

$$I(p_7) = \{t_9, t_{10}\}; I(p_8) = \{t_7\}; I(p_9) = \{t_8\}; I(p_{10}) = \{t_2\}; I(p_{11}) = \{t_4, t_6\};$$

$$O(p_1) = \{t_1, t_5\}; O(p_2) = \{t_2\}; O(p_3) = \{t_3\}; O(p_4) = \{t_4\}; O(p_5) = \{t_6\};$$

$$O(p_7) = \{t_7, t_8\}; O(p_8) = \{t_1\}; O(p_9) = \{t_3, t_5\}; O(p_{10}) = \{t_9\}; O(p_{11}) = \{t_{10}\};$$

$$I(t_1) = \{p_1, p_8\}; I(t_2) = \{p_2\}; I(t_3) = \{p_3, p_9\}; I(t_4) = \{p_4\}; I(t_5) = \{p_1, p_9\};$$

$$I(t_6) = \{p_5\}; I(t_7) = \{p_7\}; I(t_8) = \{p_7\}; I(t_9) = \{p_{10}\}; I(t_{10}) = \{p_{11}\};$$

$$O(t_1) = \{p_2\}; O(t_2) = \{p_3, p_{10}\}; O(t_3) = \{p_4\}; O(t_4) = \{p_6, p_{11}\}; O(t_5) = \{p_5\};$$

$$O(t_6) = \{p_6, p_{11}\}; O(t_7) = \{p_8\}; O(t_8) = \{p_9\}; O(t_9) = \{p_7\}; O(t_{10}) = \{p_7\}.$$

При заданной начальной маркировке $\mu_0 = (1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0)$ фишки находятся в позициях p_1 и p_7 , что соответствует нормальному (штатному) режиму функционирования авиапредприятия (для ОТИ и ТС авиапредприятия, службы АБ установлен уровень безопасности № 1), ДЛ осуществляет руководство службой АБ. Возможны два варианта перехода САБ в высший уровень безопасности № 3: 1) из уровня № 1 в уровень № 2 и затем в уровень № 3; 2) из уровня № 1 сразу же в уровень № 3. Разрешенными переходами являются t_7 и t_8 , следовательно, ДЛ может отдать команду на установление уровня безопасности № 2 или № 3 соответственно.

Рассмотрим первый вариант установления высшего уровня безопасности № 3. При поступлении команды от ДЛ срабатывает переход t_7 , фишка убывает из позиции p_7 , помещается в позицию p_8 , что соответствует доведению команды до подразделений САБ. Теперь разрешенным является переход t_1 (фишки в p_1 и p_8). При его срабатывании (САБ начинает переходить в уровень безопасности № 2), фишки из его входных позиций p_1 , p_8 удаляются и в p_2 помещается одна фишка (САБ переходит в уровень безопасности № 2). Переход t_2 разрешен, его срабатывание означает конец перехода САБ в уровень безопасности № 2. При этом из p_2 фишка удаляется и в p_3 , p_{10} помещаются по одной фишке. Это соответствует тому, что САБ находится в уровне безопасности № 2 и идет доклад ДЛ. Ингибиторная дуга из позиции p_3 в переход t_7 блокирует его срабатывание при наличии фишки в позиции p_3 . Срабатывание разрешенного перехода t_9 означает доведение до ДЛ

доклада об установлении уровня безопасности № 2 (фишка из позиции p_{10} удаляется, в позицию p_7 помещается одна фишка). Разрешенным является только переход t_8 , так как переход t_7 блокирован ингибиторной дугой. При его срабатывании (поступление команды от ДЛ на установление уровня безопасности № 3) фишка убывает из позиции p_7 , помещается в позицию p_9 , что соответствует доведению команды до подразделений САБ. Разрешен переход t_3 (фишки в позиции p_3 и p_9) и при его срабатывании (начинается переход в уровень безопасности № 3 из уровня № 2, при этом фишки из p_3 и p_9 удаляются и одна фишка помещается в p_4 (идет переход САБ в уровень безопасности № 3)). Разрешен переход t_4 , его срабатывание (переход в уровень № 3 завершен) удаляет фишку из p_4 и помещает по фишке в p_6 и p_{11} (САБ находится в уровне безопасности № 3 и идет доведение доклада до ДЛ). Ингибиторные дуги из позиции p_6 в переходы t_7 , t_8 блокируют последние. Срабатывание разрешенного перехода t_{10} (ДЛ получило доклад о переходе САБ в высший уровень безопасности) удаляет фишку из p_{11} и помещает фишку в p_7 .

При втором варианте установления высшего уровня безопасности № 3 последовательность срабатывания переходов будет следующая: t_8 - фишка удаляется из p_7 , помещается в p_9 ; t_5 - фишки удаляются из p_1 и p_9 , помещается в p_5 ; t_6 - фишка удаляется из p_5 , по одной фишке помещается в p_6 и p_{11} ; t_{10} - фишка удаляется из p_{11} , помещается в p_7 . Дальнейшее срабатывание переходов t_7 и t_8 блокированы в позиции p_6 .

Для сети Петри, представленной на рис. 2, граф достижимых состояний будет иметь следующий вид (рис. 3).

При исследовании графа достижимых состояний, изображенного на рис. 3, получим:

- сеть безопасна, так как маркировка вершин дерева содержит только символы 0,1;
- сеть потенциально живая, так как содержит дуги, обозначенные символами каждого из ее переходов;
- сеть является живой, так как дерево не содержит терминальные (тупиковые) вершины.

Таким образом, сети Петри являются эффективным средством анализа сложных систем и имеют ряд важных преимуществ, таких как наглядное графическое представление, аналитические и имитационные методы исследования.



Рис. 3. Граф достижимых состояний сети Петри

Выводы

Предложенные модели описывают работу САБ по нейтрализации АНВ в деятельность авиапредприятия с учетом приведения службы АБ в различные уровни безопасности. При этом не учитывались временные параметры этого процесса. Тем не менее предложенная модель наглядно отображает моделируемый процесс и с учетом более глубокой его детализации, а также с использованием комбинированной (нечеткой иерархической цветной функциональной) сети Петри может служить исходным пунктом для моделирования в режиме реального времени деятельности САБ при возникновении чрезвычайных ситуаций, связанных с актом незаконного вмешательства. С помощью этой модели можно будет оценивать эффективность процесса функционирования САБ при АНВ в деятельность авиатранспортного комплекса, в первую очередь связанную с ее временными характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Котов В.Е. *Сети Петри*. М.: Наука, 1984. 160 с.
2. Питерсон Дж. *Теория сетей Петри и моделирование систем* / пер. с англ. М.: Мир, 1984. 264 с.
3. Блюмин С.Л., Шмырин А.М., Седых И.А., Филоненко В.Ю. *Окрестностное моделирование сетей Петри*: монография. Липецк: ЛЭГИ, 2010. 124 с.
4. Бодянский Е.В., Кучеренко Е.И., Михалев А.И. *Нейро-фаззи сети Петри в задачах моделирования сложных систем*: монография. Днепропетровск: Системные технологии, 2005. 311 с.

THE APPROACH TO THE ASSESSMENT OF THE EFFECTIVENESS OF THE AVIATION SECURITY SERVICE OF AIRLINES USING PETRI NETS

Zubkov B.V., Iudaev V.V., Verbitckiy Yu.A.

This article discusses the approach to estimation of time of performance of the aviation security service of airlines considering bringing it into different levels of security to ensure the required degree of protection against immediate and direct threats to commit an act of unlawful interference in the activities of the air transport system using Petri nets.

Keywords: Petri net, aviation security, an act of unlawful interference.

REFERENCES

1. Kotov V.E. *Seti Petri*. M.: Nauka. 1984. 160 p. (In Russian).
2. Piterson Dzh. *Teorija setej Petri i modelirovanie sistem*. Per. s angl. M.: Mir. 1984. 264 p. (In Russian).
3. Bljumin S.L., Shmyrin A.M., Sedyh I.A., Filonenko V.Ju. *Okrestnostnoe modelirovanie setej Petri*: monografija. Lipeck: LJeGI. 2010.124 p. (In Russian).
4. Bodjanskij E.V., Kucherenko E.I., Mihalev A.I. *Nejro-fazzi seti Petri v zadachah modeli-rovanija slozhnyh sistem*: monografija. Dnepropetrovsk: Sistemnye tehnologii. 2005. 311 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Зубков Борис Васильевич, 1940 г.р., окончил КИИГА (1966), доктор технических наук, действительный член Академии наук авиации и воздухоплавания, профессор кафедры безопасности полетов и жизнедеятельности МГТУ ГА, автор более 150 научных работ, область научных интересов – вопросы обеспечения безопасности полетов и жизнедеятельности авиационной безопасности.

Юдаев Вячеслав Владимирович, 1955 г.р., окончил Киевское ВВИДКУС (1979), Ленинградскую ВКАС (1988), аспирант УВАУ ГА(И), старший преподаватель УВАУ ГА(И), область научных интересов – вопросы обеспечения авиационной безопасности.

Вербицкий Юрий Анатольевич, 1943 г.р., окончил Ленинградскую ВКАС (1972), доцент кафедры обеспечения авиационной безопасности УВАУ ГА(И), область научных интересов – вопросы обеспечения авиационной безопасности.