

УДК 519.87

ПРИМЕНЕНИЕ ЭНТРОПИЙНО-ВЕРОЯТНОСТНОЙ МОДЕЛИ ОПЕРАТОРА РЕНТГЕНТЕЛЕВИЗИОННОГО ИНТРОСКОПА В АЛГОРИТМЕ РАБОТЫ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРА В ПРОЦЕССЕ ПОДГОТОВКИ СОТРУДНИКОВ ПУНКТА ДОСМОТРА

А.К. ВОЛКОВ, В.В. ЮДАЕВ, Л.В. КУЗОВАТКИНА

В статье рассматривается возможность применения энтропийно-вероятностной модели оператора рентгентелевизионного интроскопа в алгоритме работы компьютерного тренажера в целях повышения эффективности профессиональной подготовки сотрудников службы авиационной безопасности. В основе модели лежит представление стохастической системы «оператор» в виде случайного многомерного вектора, каждая из компонент которого представляет собой случайную непрерывную величину, характеризующую вероятность обнаружения определенного типа запрещенных к перевозке на воздушном транспорте опасных предметов. Основные достоинства предложенного подхода:

- простота реализации и интерпретации энтропийной модели оператора;
- энтропийная модель, реализованная в специальном алгоритме, применима для решения задач диагностики и контроля состояния стохастической системы «оператор», а также для эффективного управления им в процессе обучения.

Ключевые слова: оператор, тренажер, стохастическая система, энтропийно-вероятностная модель, алгоритм.

В настоящее время все большую актуальность приобретает процесс совершенствования профессиональной подготовки специалистов авиационной безопасности. В системе мер обеспечения авиационной безопасности важную роль играет человеческий фактор. Главным элементом в системе обеспечения авиационной безопасности является оператор рентгентелевизионного интроскопа. Эффективность мер авиационной безопасности прежде всего определяется по показателям эффективности действий сотрудников службы авиационной безопасности, работающих на пунктах досмотра, то есть операторов досмотра [1]. С точки зрения комплексного изучения человеческого фактора процесс улучшения качества профессиональной подготовки направлен на оптимизацию деятельности человека в целях повышения его надежности, то есть снижения возможности возникновения ошибки с его стороны. Таким образом, ставится задача повышения эффективности профессиональной подготовки операторов рентгентелевизионных интроскопов.

Одним из путей решения приведенной выше задачи является использование в процессе подготовки операторов компьютерных тренажеров. Согласно [2] применяемая в тренажерах автоматизированная обучающая система должна обеспечить:

- достижение обучаемыми заданного качества усвоения программы обучения;
- рост эффективности процесса обучения.

Таким образом, цель подготовки персонала с использованием компьютеризированного обучения заключается в достижении оператором интроскопа надлежащего уровня квалификации наиболее экономичным образом. Анализ представленных на данный момент компьютерных тренажеров таких фирм, как Renful Premier Technologies, Security Training International и НОУ «НУЦ «АБИНТЕХ» показал, что в процессе подготовки на них специалистов не в полной мере реализованы такие рекомендации Международной Организации Гражданской Авиации, как [1]:

- дать возможность обучаться в саморегулируемом темпе и адаптировать подготовку к индивидуальным потребностям слушателя в обучении путем регулирования уровней трудности и сосредоточивания внимания на конкретных областях, требующих развития;
- обеспечить средство для стандартизации обучения и оценки;
- обеспечить подробную информацию для инструкторов, касающуюся учебных блоков, изучаемых слушателями, а также их знаний и уровней достигнутых результатов.

В свою очередь умело, разработанные компьютерные тренажеры могут оказаться очень эффективными и обеспечить действенную, интерактивную подготовку с самостоятельно задаваемым темпом подготовки для развития навыков оператора досмотра [1].

В целях достижения соответствия математической модели оператора рентгенотелевизионного интроскопа реальным условиям его функционирования предлагается использовать энтропийно-вероятностную модель. Применение данного подхода обусловлено тем, что деятельность оператора характеризуется вероятностным поведением в процессе обнаружения запрещенных к перевозке предметов по теневому изображению на экране монитора. Таким образом, работу оператора можно представить в виде стохастической системы, главным свойством которой является энтропия. В данном случае энтропия соответствует степени структурной организации и дезорганизации представлений оператора о видах теневого изображения опасных предметов на экране монитора, а также является параметром управления стохастической системой «оператор» в процессе подготовки специалистов на компьютерном тренажере.

Основным понятием в рассматриваемом подходе является энтропия непрерывной случайной величины X или дифференциальная энтропия, определяемая по формуле [3]:

$$H(X) = - \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) \ln f(x) dx,$$

где $f(x)$ – плотность распределения случайной величины X .

В свою очередь, стохастическую систему «оператор» можно представить в виде многомерной случайной величины $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_n)^T$, компоненты которой являются одномерными случайными величинами, определяющими основные вероятностные характеристики оператора интроскопа. На основании центральной предельной теоремы предполагается, что данные величины распределены по нормальному закону распределения. В случае если по исходным данным вектор Y нельзя считать нормальным, можно выполнить его аппроксимацию нормальным распределением, то есть представить случайные компоненты Y_i нормально распределенными с некоторыми дисперсиями $\sigma_{Y_i}^2$. Энтропия случайного вектора Y определяется по формуле [4]:

$$H(Y) = \sum_{i=1}^n H(Y_i) + \frac{1}{2} \ln |R|, \quad (1)$$

где $|R|$ – определитель корреляционной матрицы R случайного нормально распределенного вектора Y равный

$$R = \begin{pmatrix} 1 & \rho_{12} & \rho_{13} & \dots & \rho_{1n} \\ \rho_{21} & 1 & \rho_{23} & \dots & \rho_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \rho_{n1} & \rho_{n2} & \rho_{n3} & \dots & 1 \end{pmatrix},$$

где $\rho_{ij} = \frac{K_{ij}}{\sqrt{\sigma_i^2 \sigma_j^2}}$ – коэффициент корреляции пар компонентов Y_i, Y_j ; здесь

$K_{ij} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (y_i - M[Y_i]) \cdot (y_j - M[Y_j]) \cdot f(y_i, y_j) dy_i dy_j$ – ковариация компонентов Y_i, Y_j , где

$M[Y_i], M[Y_j]$ – математические ожидания компонент Y_i и Y_j соответственно; Y_i, Y_j – пары вещественных чисел, которые при проведении опыта принимают в качестве своего значения компоненты Y_i, Y_j соответственно.

$H(Y_i)$ – энтропия каждой из нормальных случайных величин, равная [4]

$$H(Y_i) = \frac{1}{2} \ln \left[(2\pi e) \sigma_{Y_i}^2 \right], i, j = 1, 2, \dots, n,$$

где $\sigma_{Y_i}^2$ – дисперсия случайной величины Y_i .

Таким образом, следуя модели (1), энтропия стохастической системы «оператор» складывается из двух составляющих, которые согласно [5] можно характеризовать как целостность и аддитивность рассматриваемой системы. Составляющая $\sum_{i=1}^m H(Y_i)$ характеризует предельную энтропию, соответствующую полной независимости элементов системы, то есть энтропию хаотичности. А составляющая $\frac{1}{2} \ln |R|$ равна энтропии совместной корреляционной взаимосвязи между элементами системы, ее можно охарактеризовать энтропией самоорганизации [4].

Реализация данной модели в алгоритме работы тренажера представляется следующим образом. В качестве основных факторов, влияющих на правильность интерпретации теневого рентгеновского изображения, определим следующие: цветное изображение объекта; геометрический образ объекта; ориентацию объекта; оверлейность изображений; сложность объекта. В связи с этим введем следующие случайные величины, предполагая, что они распределены по нормальному закону распределения:

Y_1 – количество ошибок при интерпретации теневых рентгеновских изображений багажа с опасными предметами при влиянии фактора «цветное изображение объекта»;

Y_2 – количество ошибок при интерпретации теневых рентгеновских изображений багажа с опасными предметами при влиянии фактора «геометрический образ объекта»;

Y_3 – количество ошибок при интерпретации теневых рентгеновских изображений багажа с опасными предметами при влиянии фактора «ориентация объекта»;

Y_4 – количество ошибок при интерпретации теневых рентгеновских изображений багажа с опасными предметами при влиянии фактора «оверлейность изображений»;

Y_5 – количество ошибок при интерпретации теневых рентгеновских изображений багажа с опасными предметами при влиянии фактора «сложность объекта».

Тогда стохастическую систему «оператор» можно представить в виде вектора $Y = (Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5)$. Пусть многомерным случайным величинам $Y^{(1)} = (Y_1^{(1)}, Y_2^{(1)}, Y_3^{(1)}, Y_4^{(1)}, Y_5^{(1)})$ и $Y^{(2)} = (Y_1^{(2)}, Y_2^{(2)}, Y_3^{(2)}, Y_4^{(2)}, Y_5^{(2)})$ будут соответствовать наборы вероятностей при предыдущем и текущем периоде обучения на тренажере. Мониторинг состояния системы «оператор» в процессе подготовки будет осуществляться путем анализа изменения энтропий векторов случайных величин и их компонентов по следующей формуле [6]:

$$\Delta H(Y) = H(Y^{(2)}) - H(Y^{(1)}) = \sum_{k=1}^5 \ln \frac{\sigma_{Y_k^{(2)}}}{\sigma_{Y_k^{(1)}}} + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^5 \ln \frac{1 - R_{Y_k^{(2)}/Y_1^{(2)} \dots Y_{k-1}^{(2)}}}{1 - R_{Y_k^{(1)}/Y_1^{(1)} \dots Y_{k-1}^{(1)}}}, \quad (2)$$

где

$$\sigma_{Y_k^{(l)}/Y_1^{(l)} \dots Y_{k-1}^{(l)}} = \sigma_{Y_k^{(l)}} \sqrt{1 - R_{Y_k^{(l)}/Y_1^{(l)} \dots Y_{k-1}^{(l)}}^2};$$

$R_{Y_k^{(l)}/Y_1^{(l)} \dots Y_{k-1}^{(l)}}^2$ – коэффициенты детерминации соответствующих регрессионных зависимостей, $k = 2 \dots 5, l = 1, 2$.

Тогда, при $\Delta H(Y) < 0$ можно говорить об эффективности данного этапа подготовки на тренажере, $\Delta H(Y) > 0$ характеризует обратное явление. В свою очередь, анализ изменения каждой из компонент системы «оператор», характеризующей энтропию хаотичности и самоорганизации соответственно, исходя из формулы (2), позволит выявить те элементы, которые в наибольшей степени повлияли на рост хаотичности и снижение самоорганизации системы, и сформировать управляющее воздействие на них в целях снижения энтропии всей системы.

Таким образом, эффективное управление процессом подготовки операторов на тренажере будет достигаться за счет специально разработанного алгоритма на основе энтропийно-вероятностной модели оператора, который позволит:

- определять стратегию подготовки оператора на основе анализа изменения энтропии системы и ее компонентов;
- формировать процесс совершенствования (самоорганизации) структуры системы «оператор» путем управляющих воздействий на элементы, приводящие к наибольшему изменению энтропии системы и ее компонентов.

ВЫВОДЫ

В данной статье рассматривается возможность использования в качестве математической модели оператора интроскопа энтропийно-вероятностную модель. В ее основе лежит представление стохастической системы «оператор» в виде случайного многомерного вектора, каждая из компонент которого представляет собой случайную непрерывную величину, характеризующую вероятность обнаружения определенного типа запрещенных к перевозке на воздушном транспорте опасных предметов. Данную модель предлагается использовать в качестве основы для алгоритма при разработке компьютерного тренажера по подготовке операторов рентгенотелевизионных установок.

Основные достоинства предложенного подхода:

- простота реализации и интерпретации энтропийной модели оператора;
- энтропийная модель, реализованная в специальном алгоритме, применима для решения задач диагностики и контроля состояния стохастической системы «оператор», а также для эффективного управления им в процессе обучения;
- возможность использования модели на малых выборках данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по авиационной безопасности / Утв. Ген. секретарем и опубл. с его санкции. 8-е изд. Канада, Монреаль: ИКАО, 2011. 748 с.
2. Об утверждении Порядка подготовки сил обеспечения транспортной безопасности / Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 31 июля 2014 г. № 212 г. Москва. [Электронный ресурс]. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_168566/ (дата обращения 15.01.2015).
3. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Издательство иностранной литературы, 1963. 830 с.

4. **Тырсин А.Н., Варфоломеева О.В.** Энтропийное моделирование работы автотранспортного предприятия // Вестник ЮРГТУ (НПИ). 2011. № 3. С. 145–150.

5. Теория систем и системный анализ в управлении организациями. Справочник. / Под ред. В.Н. Волковой, А.А. Емельянова. М.: Финансы и статистика, 2006. 848 с.

6. **Тырсин А.Н., Варфоломеева О.В.** Исследование динамики многомерных стохастических систем на основе энтропийного моделирования // Информатика и ее применение. 2013. Т. 7. Вып. 4. С. 3–10.

APPLICATION OF THE ENTROPY-PROBABILISTIC MODEL OF THE X-RAY TELEVISION INTROSCOPE OPERATOR IN THE ALGORITHM OF THE COMPUTER SIMULATOR DURING TRAINING OF SECURITY SCREENING POINT EMPLOYEES

Volkov A.K., Iudaev V.V., Dormidontov A.V.

The article discusses the possibility of applying the entropy-probabilistic model of the operator x-ray television introscope in the algorithm of the computer simulator in order to increase the effectiveness of professional training of employees of the aviation security service employees. The model is based on a stochastic representation of the system “operator” in the form of multi-dimensional random vector, each component of which is a random continuous value, describing the probability of dangerous goods detection forbidden for transportation by air transport. The main advantages of the proposed approach are as follows:

- ease of implementation and interpretation of the operator entropy model;
- entropy model, realized in specific algorithm, is applicable for diagnostic tasks and stochastic system “operator” control and also for effective management in the learning process.

Key words: operator, simulator, stochastic system, entropy-probabilistic model, algorithm.

REFERENCES

1. The aviation security manual / Approved General Secretary and publ. with its sanctions. 8th ed. Canada, Montreal: ICAO, 2011. 748 p.

2. On approval of the Procedure for the preparation of forces for transport security. The order of the Ministry of transport of the Russian Federation of 31 July 2014, № 212, Moscow. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_168566/ (accessed 15.01.2015).

3. **Shannon K.** Works on information theory and cybernetics. M.: Publishing house of foreign literature, 1963. 830 p.

4. **Tyrsin A.N., Varfolomeeva O.V.** Entropy modeling of work of motor transport enterprise. Vestnik YURGTU (NPI). 2011. No. 3. P. 145–150.

5. Systems theory and systems analysis in management of organizations. Reference. Edited by V.N. Volkova, A.A. Yemelyanova. M.: Finances and statistics, 2006. 848 p.

6. **Tyrsin A.N., Varfolomeeva O.V.** Study of the dynamics of multidimensional stochastic systems based on entropy modeling. Information science and application. Scientific Journal. 2013. Vol. 7. Issue 4. Pp. 3–10.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Волков Александр Константинович, аспирант кафедры обеспечения авиационной безопасности УВАУ ГА (И), электронный адрес: oabuvauga@mail.ru.

Юдаев Вячеслав Владимирович, старший преподаватель, аспирант кафедры обеспечения авиационной безопасности УВАУ ГА (И), электронный адрес: oabuvauga@mail.ru.

Кузоваткина Лидия Владимировна, аспирант кафедры обеспечения авиационной безопасности ФГБОУ ВО УИГА, электронный адрес: oabuvauga@mail.ru.