

УДК 623.765:681.513.6

М.А. Павленко¹, П.Г. Бердник², И.Ю. Хромов¹¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба²Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина

МЕТОД АНАЛИЗА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

В данной статье предложен метод анализа деятельности оператора при обработке информации о состоянии объекта управления и выработке решений в автоматизированной системе информационного обеспечения управления воздушным движением, с учетом решаемых задач управления и свойств информационных моделей

оператор АСУ, информационное обеспечение, информационная модель

Введение

Разработка и внедрение новейших информационных технологий в системы человек-машина, установка новых автоматизированных систем управления (АСУ) влечет за собой изменение структуры системы информационного обеспечения (СИО) деятельности оператора или отдельных её элементов. Анализ деятельности оператора проводился в СИО, при разработке которой главное внимание уделялось антропометрическим, физиологическим и психофизиологическим особенностям оператора. Это в свою очередь определило структуру СИО, состав средств отображения, набор информационных моделей (ИМ) и форм представления информации о состоянии объекта управления (СОУ) и другой информации необходимой для ее оценки. Оператору представляется та информация об объекте, которая обработана в АСУ, без учета:

необходимости данной информации оператору; возможностей оператора по обработке информации;

способов обработки информации оператором; соответствия информации задачам, которые он решает;

условий деятельности оператора.

В современных же АСУ, СИО разрабатываются с учетом перечисленных особенностей. В таком случае, использование существующих методов анализа деятельности оператора при проектировании перспективных АСУ не возможно, в силу того, что многие особенности как современных СИО, так и структуры деятельности лиц расчетов не учтены. Становится актуальным вопрос разработки новых методов анализа деятельности оператора, в современных АСУ, учитывая такие особенности, как многоцветное кодирование информации, состав динамических информационных элементов (ИЭ) и использование динамически изменяющейся ИМ.

Анализ литературы. В литературе [1 – 3] представлено несколько групп методов, которые использовались для исследования деятельности

операторов АСУ предыдущего поколения, основные из них указаны ниже.

Операционно-логические методы [1, 2] анализа деятельности имеют целью анализ и синтез структур деятельности на основе языковых средств технической кибернетики, вероятностей логики и теории алгоритмов, теории вероятностей, теории информации, массового обслуживания и исследования операций, теории графов и матриц.

Назначение *соматографических методов* – это оптимизация рабочей позы, а также компоновки рабочих мест. Языковые средства обеспечиваются биомеханикой, антропометрией и техническим черчением.

Психофизиологические методы, с одной стороны, имеют целью устранение информационных и кинетических перегрузок (недогрузок), профессиональный отбор, ориентацию и обучение, а с другой стороны, поставляют необходимые сведения, как для предметно-функциональных, так и для личностных методов. Здесь используются знания психологических и физиологических дисциплин, математический аппарат теории алгоритмов и графов.

Личностные методы предназначены для профориентации и профотбора. Они целиком основываются на понятийном аппарате дифференциальной психологии, психологии способностей и личности, на многомерном статистическом анализе и психометрическом шкалировании.

Цель статьи. Представление результатов разработки метода анализа деятельности оператора АСУ пункта управления воздушным движением.

Результаты исследований

Наиболее объективные результаты оценки деятельности оператора могут быть получены на основании проведения исследований его деятельности непосредственно на ПУ. Однако проведение таких исследований практически невозможно в силу больших экономических затрат.

Построение аналитической модели деятельности оператора при оценке воздушной обстановки невозможно в силу отсутствия адекватных способов

формализованного описания интеллектуальной деятельности оператора, отсутствия строгого алгоритма его деятельности, невозможности учета всех факторов, влияющих на процесс его деятельности.

В таком случае единственным доступным способом проведения исследования деятельности оператора является проведение имитационного моделирования его деятельности.

Имитационная модель позволит учесть групповой характер деятельности при оценке ВО, свойства оператора по обработке и декодированию информации, отразить особенности его работы с различными устройствами отображения (УО) информации, учесть необходимые затраты времени на выполнение действий по преобразованию ИМ в концептуальную модель. Модель деятельности оператора при решении задачи определения положения ВО, количественного состава, курса полета, диапазонов высот и скоростей, представлена графом на рис. 1.

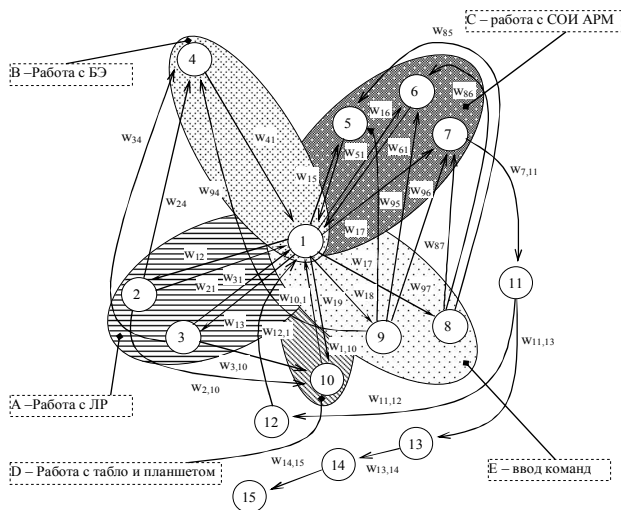


Рис. 1. Модель деятельности оператора при оценке ВО на ПУВД

В представленном графе вершины соответствуют событиям, например, "информация, представленная на БЭ, воспринята", "ввод команд в ЭВМ осуществлен", в то время как ребрам соответствуют вероятности перехода от одного события к другому, а также время, затрачиваемое на такой переход. Определим содержание вершин данного графа, а также смысл и последовательность переходов между вершинами (табл. 1, 2).

При рассмотрении модели деятельности оператора можно выделить несколько ее фрагментов, соответствующих различной деятельности оператора: А – работа оператора с другими лицами смены, В – работа оператора с СОИ коллективного пользования, С – работа оператора с СОИ АРМ, D – работа оператора с табло и планшетами, Е – действия оператора, связанные с вводом команд в ЭВМ.

Такое выделение фрагментов модели деятельности позволит провести ее более полное и всестороннее исследование с учетом особенностей деятельности оператора при оценке различных простых, сложных и критических ситуаций ВО.

Таблица 1

Содержание вершин

События	Содержание события
1	Начало работы оператора на ПУ
2, 3	Взаимодействие оператора с другими лицами смены
4	Анализ информации, которая отображается на большом экране, выполнен
5	Анализ общей информации, которая отображается на экране АРМ, выполнен
6	Анализ обобщенной информации на экране АРМ выполнен
7	Анализ информации, которая представлена ИМ, выполнен
8	Введение информации с клавиатуры произведено
9	Введение информации с использованием манипулятора мышь произведено
10	Дополнительная информация с планшетов и табло воспринята
11	Оценка информации о ВО выполнена
12	Решение не принято
13	Решение принято
14	Кнопка подтверждения нажата
15	Решение задачи завершено

Таблица 2

Содержание действий оператора при переходе из одного состояния в другое

Переходы	Действия
$w_{4,1}, w_{5,1}, w_{6,1}$	Восприятие оператором информации на большом экране и экране АРМ
$w_{10,1}$	Восприятие оператором информации, которая отображается с помощью планшетов и табло
$w_{11,12}, w_{11,13}$	Принятие решения
$w_{13,14}$	Подтверждение команды на принятие решения
$w_{14,15}$	Конец решения задачи

Рассматриваемая модель деятельности оператора при оценке различных ситуаций ВО формально может быть задана следующим образом [1]:

$$P = |p_{ij}|; \quad (1) \quad T = |t_{ij}|, \quad (2)$$

где P – матрица вероятностей переходов между событиями ij; T – матрица времени, затрачиваемого на работу при переходе от события i к событию j; p_{ij} – вероятность перехода от события i к событию j; t_{ij} – время, затрачиваемое на переход от события i к событию j; $i = j = N$ и соответствуют количеству состояний, в которых может находиться оператор. На рис. 1 значения p_{ij} и t_{ij} заданы как $w_{ij}(p_{ij}, t_{ij})$.

При проведении имитационного моделирования процесса оценки ВО были использованы следующие допущения и упрощения [5].

Для рассматриваемого вида деятельности процесс восприятия информации фактически сводится к информационному поиску – нахождению в ИМ объек-

тов (признаков), характеризующих свойства сложившейся ВО. Такими признаками, могут быть, например, нарушение одиночными летательными аппаратами государственной границы Украины или нарушения отдельными воздушными суднами режима полета. Наряду с основными операциями восприятия и оценки отображаемой информации оператор отдает распоряжения и принимает доклады о результатах решения частных задач другими лицами смены ПУ. Условно назовем эти действия вспомогательными [1, 2, 4].

Таким образом, время оценки ВО $t_{\text{ОВО}}$ зависит от времени поиска информации $t_{\text{ИП}}$ и времени выполнения вспомогательных действий $t_{\text{В}}$:

$$t_{\text{ОВО}} = t_{\text{ИП}} + t_{\text{В}}. \quad (3)$$

Время информационного поиска является сложной функцией ряда аргументов [1,3,4]:

$$t_{\text{ИП}} = f(N, p_a, \text{ПФ}) \quad (4)$$

где N – объем информационного поля (общее число объектов); p_a – априорная вероятность успеха на 1-м шаге поиска; $p_a = M/N$, где M – число искомых объектов, обладающих заданными признаками; ПФ – психологические факторы, касающиеся организации средств отображения и работы ЛПП с ними (яркость изображения B , контрастность K , угловые размеры поля θ и знаков ϑ , тактика поиска T и т.д.).

Аргументы последней группы могут считаться постоянными для рассматриваемой системы. Следовательно, необходимо установить зависимость времени $t_{\text{ИП}}$ от следующих аргументов:

$$t_{\text{ИП}} = \varphi(N, p_a) = \varphi(N, M). \quad (5)$$

При обработке информации, представленной на СОИ, время, затрачиваемое оператором на одну фиксацию взгляда на объекте, почти не зависит от того, целевой объект фиксируется глазом или фоновый. В зависимости от условий восприятия время фиксации взгляда составляет: $t_{\text{ф}} = 0,025, \dots, 0,65$ с и более [1]. В ряде работ [1, 2] показано, что для ориентировочной оценки времени поиска информации в ИМ, можно использовать выражение:

$$t_{\text{ИП}} \cong \frac{N+1}{M+1} t_{\text{ф}}. \quad (6)$$

Время выполнения вспомогательных действий ($t_{\text{В}}$) тоже есть сложная функция ряда аргументов:

$$t_{\text{В}} = f(\bar{t}_{\text{р,к}}, \bar{t}_{\text{бр,к}}, p_{\text{к}}), \quad (7)$$

где $\bar{t}_{\text{р,к}}$ – время выдачи распоряжений боевому расчету о подготовке необходимых данных и прием докладов при решении k -ой вспомогательной задачи при оценке ВО ($k = 1, 2, \dots, K$); $\bar{t}_{\text{бр,к}}$ – время решения k -ой вспомогательной задачи лицами дежурной смены ПУ; $p_{\text{к}}$ – априорная вероятность возникновения k -ой вспомогательной задачи.

Многочисленные исследования, например [1, 4], показывают, что распределение случайных значений времени решения задач при работе оператора

с ИМ является, как правило, усеченным, унимодальным и несимметричным.

С сохранением достаточной точности можно использовать частный случай бета-распределения, плотность которого описывается выражением (8):

$$f(\tau) = \begin{cases} \frac{12}{(t_2 - t_1)^4} (\tau - t_1)(t_2 - \tau)^2 C, & \tau > t_1, \tau < t_2; \\ 0, & \tau \leq t_1, \tau \geq t_2. \end{cases} \quad (8)$$

В этом случае матожидание времени решения задач оператором ($\bar{t}_{\text{р}}$) и дисперсия ($D_{\text{р}}$) равны:

$$\bar{t}_{\text{р}} = (3t_1 + 2t_2)/5; \quad D_{\text{р}} = 0,04(t_2 - t_1)^2. \quad (9)$$

Следовательно, для оценки параметров распределения достаточно иметь информацию только о t_1 и t_2 .

Таким образом, для оценки математического ожидания времени выполнения вспомогательных задач достаточно знать априорные оценки вероятности их возникновения, а также минимальные и максимальные значения времени выдачи распоряжений и решения частных задач лицами дежурной смены.

При разработке программной реализации имитационной модели процесса деятельности оператора каждой дуге графа поставлено в соответствие определенное значение вероятности перехода из состояния в состояние, а также время на выполнения работы для такого перехода. Время нахождения в данном состоянии находилось из выражения (9). Значения верхнего и нижнего пределов времени нахождения в различных состояниях были получены из [1].

На основании выделенных групп действий оператора проведем исследование затрат времени при их выполнении, а также исследуем деятельность оператора в условиях возникновения в воздухе различных по сложности ситуаций ВО.

В предложенной модели деятельности оператора установить порядок и последовательность выполняемых действий не представляется возможным. Поэтому в общем случае, переходы между состояниями p_{ij} равновероятны. Однако если предположить возникновение нарушения режима полета одиночным судном или группой, то ВО будет относительно простой, оператор достаточно информирован о ней и способен самостоятельно провести ее анализ и принять решение по информации, представленной на БЭ. В таком случае предположим, что переход w_{12} имеет следующие характеристики $(0,25; t_{ij})$. При этом сумма вероятностей перехода из состояния 1 в другие состояния равна 1.

Разработано программное средство, которое позволяет реализовать и исследовать разработанную модель деятельности оператора по обработке информации представленной на средствах отображения информации. Используя эту модель удалось получить оценку временных затрат, связанных с отдельными действиями оператора, которые направлены на обработку информации. Результаты проведенных исследований с помощью этого программного средства представлены на рис. 2

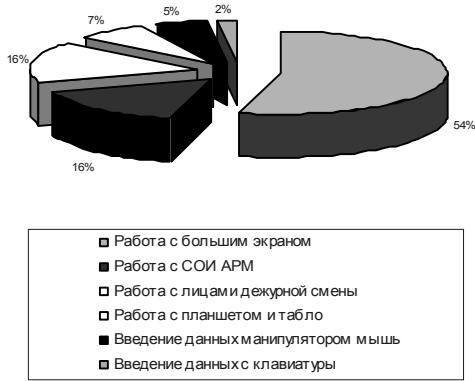


Рис. 2. График распределения времени, которое затрачивает оператор для решения определенного типа задачи

Можно уточнить некоторые аспекты работы оператора, проведя дополнительные исследования представленной модели деятельности. Распределение затрат времени оператора на обработку информации, представленной на СОИ получены с использованием разработанной модели деятельности оператора и с использованием выражений (1, 2, 6, 8), в условиях возникновения различных по сложности ситуаций ВО. Результаты представлены на рис. 3–5.

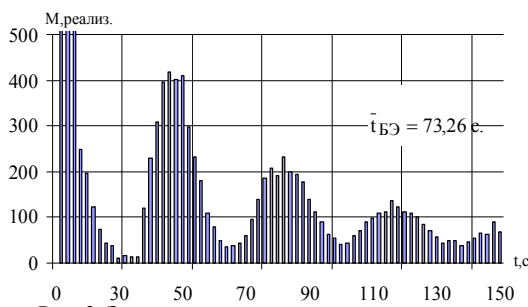


Рис. 3. Затраты времени оператором на оценку информации о ВО, представленной на БЭ

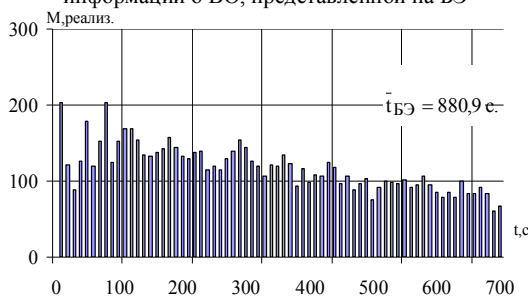


Рис. 4. Затраты времени оператором на оценку информации о ВО, представленной на БЭ, в случае самостоятельной оценки ВО

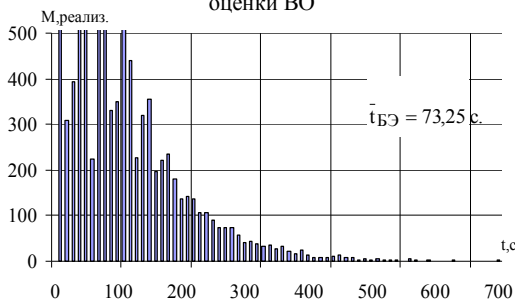


Рис. 5. Затраты времени оператором на оценку информации о ВО, представленной на БЭ, в случае взаимодействия с лицами дежурной смены

Полученные распределения затрат времени работы оператора с БЭ при оценке различных по сложности ситуаций ВО, показывают, что наименьших затрат времени удастся достичь при условии использования как БЭ, так и дополнительной информации от лиц дежурной смены. Если же делается попытка самостоятельной оценки оператором ВО, то затраты времени увеличиваются в 10–12 раз.

Проведенный анализ деятельности оператора позволяет выявить следующие недостатки существующей системы информационного обеспечения, влияющие на эффективность его работы:

1. Значительная часть времени при оценке ВО (до 16%), затрачивается оператором на получение дополнительной информации от лиц дежурной смены о ВО и информационных элементах, отображаемых в составе СИМ. Данные затраты времени обусловлены низкой информативностью ИЭ, представленных в составе ИМ.

2. Значительные затраты времени на ввод команд изменения параметров отображения ИМ на АРМ.

3. Необходимость проведения большого количества операций декодирования информации при создании КМ, что вызвано несоответствием способа отображения информации в СИМ особенностям обработки информации оператором.

4. Ограниченное использование средств автоматизации ПУ для отбора и ИП и формирования ИМ, управления параметрами отображения информации на БЭ; получение и уяснение полученных задач лицами дежурной смены. Низкая автоматизация решения данных задач приводит к большим затратам времени на их решение оператором.

На основании выявленных проблем можно определить дальнейшие пути совершенствования информационного обеспечения деятельности оператора, которые могут включать совершенствование методов кодирования информации, формы отображения информации, методов отбора и компоновки информационных элементов, методы построения систем отображения информации, совершенствование АРМ, выявить недостатки подготовки операторов АСУ.

Выводы

Предложенный метод анализа деятельности оператора позволит учитывая групповой характер деятельности оператора при оценке ВО, свойств оператора по обработке и декодированию информации, отразить особенности его работы в системе информационного обеспечения и сформировать требования к методам представления и отображения информации в современных АСУ.

Список литературы

1. Хрестоматия по инженерной психологии / Сост.: Б.А. Душков, Б.Ф. Ломов, Б.А. Смирнов; Под ред. Б.А. Душкова. – М.: Высшая школа, 1991. – 287 с.
2. Серета Г.К., Бочаров Г.В., Репкина Г.В. Инженерная психология. – К.: Вища школа, 1976. – 307 с.

3. Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации. – М.: Машиностроение, 1975. – 398 с.

4. Теоретические основы управления аоенно-техническими системами: Учебное пособие (рукопись) / Ю.П. Пятков, А.С. Войтович и др. – Х.: ХУПС, 2005. – 243 с.

5. Мунипов О.В., Зинченко В.П. Эргономика. – М., 2003. – 351 с.

Поступила в редколлегию 11.12.2006

Рецензент канд. техн. наук, проф. Б.Н. Судаков, Национальный технический университет «ХПИ», Харьков.