

УДК 623.765:681.513.6

М.А. Павленко¹, С.В. Кукобко¹, М.Ю. Гусак²¹Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков²В/ч А4245, Прилуки

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ЗАКОНА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОПЕРАТОРА АСУ

В статье обоснован выбор закона распределения времени при моделирование деятельности оператора АСУ. Решение данной задачи позволяет повысить описательные возможности модели деятельности оператора и повысить качество получаемых оценок его деятельности на различных этапах моделирования.

Ключевые слова: оператор, моделирование деятельности, имитационное моделирование.

Введение

Разработка и внедрение новых информационных технологий в современные автоматизированные системы управления (АСУ), влечет за собой изменение структуры системы информационного обеспечения деятельности оператора или отдельных её элементов [1, 2]. Отмеченная трансформация приведет к изменению структуры деятельности оператора. Использование новых подходов к формированию и управлению информационными моделями (ИМ) [2 – 4] в перспективных АСУ определяет необходимость проведения дополнительных исследований деятельности оператора на этапе проектирования таких систем с целью учета изменившихся условий функционирования оператора.

Расширение круга учитываемых факторов за счет использования соответствующих моделей деятельности оператора позволяет провести оценку времени решения задач принятия решения, а так же оценить затраты времени на выполнение отдельных операций в структуре деятельности оператора и выявление проблемных мест при проектировании операторской деятельности. Существенным ограничением при использовании данных моделей является то, что при их разработке используются упрощенные данные о затратах времени на выполнение элементарных действий. Что требует проведения дополнительных исследований по обоснованию используемых при моделировании деятельности операторов АСУ законов распределения времени.

Анализ литературы. Разработке и описанию моделей деятельности человека в эргатических системах посвящено достаточно большое количество работ, например, [1 – 3 и др.]. Ряд работ [1 – 3 и др.] посвящены принципам и теоретическим основам формирования моделей деятельности человека, в других из них рассмотрены модели простых действий или процессов, являющихся элементами сложной деятельности человека. Однако вопросы связанные с обоснованием и выбором законов распределения времени остаются не освещенными.

Цель статьи. Обоснование выбора закона распределения времени при моделирование деятельности оператора АСУ.

Основная часть

За основу метода формирования модели деятельности оператора предлагается взять метод поэтапного моделирования [2]. Разработку модели деятельности оператора предлагается начать с анализа общей структуры его деятельности [статья]. При моделировании деятельности оператора будем стремиться провести не внешнее копирование, а психологическое соответствие модели и реальных процессов принятия решения [3].

Сформированная структура деятельности оператора отражает основные элементы деятельности, связанные с получением и обработкой информации, принятием решения и взаимодействия со средствами автоматизации [5] (рис. 1).

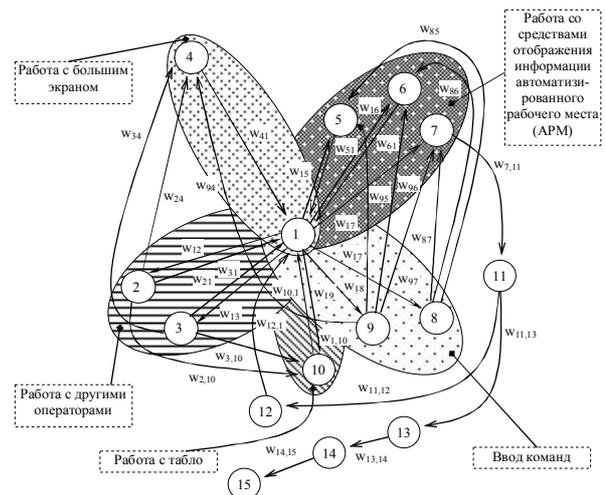


Рис. 1. Структура модели деятельности оператора

Основные операции, выполняемые оператором, представляют собой совокупность последовательно выполняемых элементарных действий (ЭД) (время их выполнения – $t_{эд}$). При работе с информационными моделями (ИМ) к наиболее часто выполняемым ЭД

относятся: поисковые движения глаз оператора, фиксация взгляда, восприятие и оценка критических объектов (формуляров, знаков и т.д.). Поэтому для оценки среднего времени выполнения нескольких ЭД (t_0) можно использовать сумму значений $t_{эд}$.

Важно отметить, что из-за воздействия большого числа факторов объективного и субъективного характера $t_{эд}$ и t_0 являются случайными величинами. Поэтому в интересах повышения достоверности оценок показателей выполнения отдельных операций используем распределения вероятностей оценок $t_{эд} = f(\tau)$. Знание законов распределения времени решения оператором различных задач управления необходимо, как для распределения функций между человеком и машиной в АСУ и рационального выбора комплекса устройств отображения КП, так и для оценки эффективности АСУ и моделирования на ЭВМ деятельности оператора.

Результаты исследования [1 – 4] подтверждают предположение об асимметричности ограниченности (слева) законов распределения времени решения оператором различных задач. Авторами указанных работ были использованы различные априорные распределения, которые довольно хорошо согласуются с эмпирическими (оценка производилась по критерию Пирсона χ^2).

Так, в исследованиях [1] показано, что время решения задач оператором подчинено усеченному нормальному закону распределения:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{C}{\sqrt{2\pi}\delta} \exp\left\{-\frac{(x-t_1-m_x)^2}{2\delta^2}\right\}, & x > t_1, \\ 0, & x \leq t_1, \end{cases} \quad (1)$$

где t_1 – минимальное время решения задачи; m и δ – параметры неусеченного нормального закона; C – нормирующий множитель.

В работе [2] показано, что время решения задач подчинено закону Пирсона, а в [3] – закону Эрланга. Оба этих закона являются частичными случаями гамма-распределения [2]:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\alpha^v}{\Gamma(v)} (x-t_1)^{v-1} \exp\{-\alpha(x-t_1)\}, & x > t_1, \\ 0, & x \leq t_1, \end{cases} \quad (2)$$

где t_1 – минимальное время решения задачи; α – масштабный параметр $\alpha > 0$; $\frac{v}{\alpha}$ – математическое ожидание; $\Gamma(v)$ – гамма функции.

Рассматривая процесс решения оператором задачи, вполне естественно предположение, что решение задачи за время сколь угодно близкое к t_1 маловероятно. С этой точки зрения нужно отдать предпочтение распределению (2).

При проведении исследования помимо распределений (1) и (2) были выдвинуты и проверены еще две гипотезы о законах распределения времени решения задач оператором.

К первой из них относится бета-распределение, плотность которого описывается выражением:

$$f(x) = \begin{cases} (x-t_1)^m (t_2-x)^n C, & x > t_1, x < t_2, \\ 0, & x \leq t_1, x \geq t_2, \end{cases} \quad (3)$$

где t_1 и t_2 – пределы области распределения случайной величины; m и n – степенные показатели ($m > -1, n > -1$); C – нормирующий множитель.

Распределение (3) характеризуется четырьмя параметрами, которые зачастую трудно определить. С сохранением достаточной точности можно использовать частный случай (3), распределение данного типа [5]:

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

В качестве второй гипотезы было использовано логарифмически нормальное распределение:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\delta(x-t_1)} \exp\left[-\frac{\{\ln(x-t_1)-m\}^2}{2\delta^2}\right], & x > t_1; \\ 0, & x \leq t_1, \end{cases} \quad (5)$$

где $m = m_x^2 \sqrt{\frac{1}{\delta_x^2 + m_x^2}}$; $\delta = \sqrt{2 \ln \frac{m_x}{m}}$; m_x и δ_x – параметры нормального распределения.

Управление выдачей информации на устройства отображения производилось с пульта экспериментатора. Полученные гистограмм эмпирических распределений и проверка их согласия с теоретическими (1), (2), (4), (5) проводилась по критерию согласия Пирсона χ^2 .

Все задачи, решаемые оператором, в соответствии с исследуемыми устройствами можно разбить на четыре группы. К первой группе относятся задачи, в которых оператор выполнял ввод команд. Задачи этой группы отличались количеством набираемых цифр. Результаты проверки согласия эмпирических и теоретических распределений приведены в табл. 1. На рис. 2 показана гистограмма и плотности распределения времени решения оператором задачи этой группы.

Ко второй группе относятся задачи, в которых оператор при непрерывном наблюдении за воздушными объектами фиксировал изменения состояния отдельных объектов.

Задачи отличались количеством одновременно появляющихся изменений и качеством фона (постоянный или переменный).

Таблица 1

Результаты проверки согласованности эмпирических и теоретических распределений

№ п/п	Колич. Набир. цифр	Значения χ^2			
		Усеч. норм.	Логарифм. норм.	Бета	Гамма
1.	1	43	627	12,9	36,5
2.	2	11,7	21,3	9,8	460
3.	3	6,7	36,6	21,0	1023
4.	4	25,7	149	7,7	1023
5.	5	20,1	88,5	7,2	52,6

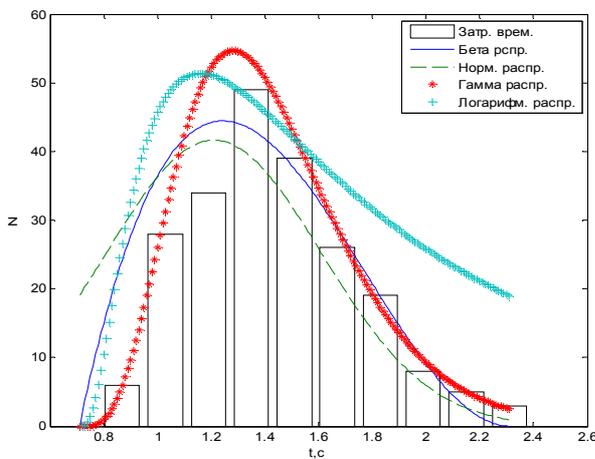


Рис. 2. Гистограмма и плотности распределения времени решения оператором задачи набора цифр

Результаты проверки согласия эмпирических и теоретических распределений приведены в табл. 2. На рис. 3 показана гистограмма и теоретические распределения для данной задачи.

Таблица 2

Результаты проверки согласованности эмпирических и теоретических распределений

№ п/п	Фон	Колич. измен.	Значения χ^2			
			Усечен. Норм.	Лог. норм.	Бета	Гамма
1	2	3	4	5	6	7
1	Постоянный	от 1 до 4	13,0	13,0	134	7,7
2	Переменный	от 1 до 4	23,9	15,1	74,5	11,9
3	Переменный	от 1 до 10	5,6	67,7	143	6,4

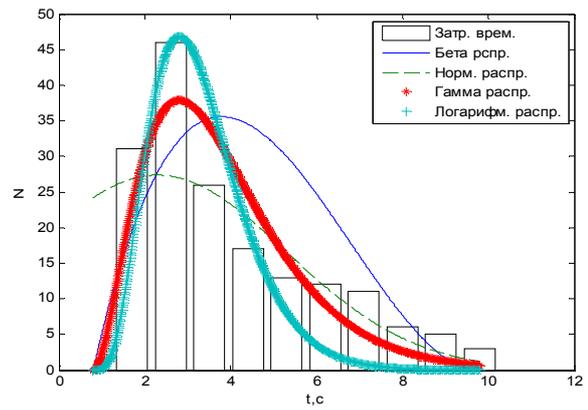


Рис. 3. Гистограмма и плотности распределения времени решения оператором задачи наблюдения

К третьей группе относятся задачи, в которых оператор по заданию экспериментатора определял одну характеристику цели по табло. Задачи отличались способом предъявления информации.

Результаты проверки согласия эмпирических и теоретических распределений для задач этой группы приведены в табл. 3, а на рис. 4 показаны распределения для данной задачи.

Таблица 3

Результаты проверки согласованности эмпирических и теоретических распределений

№ п/п	Способ предъявления информации	Значения χ^2			
		Усеч. норм.	Лог. норм.	Бета	Гамма
1	С выделением строки	9,7	68,3	7,5	38
2	Без выделения	7,9	325	8,0	89
3	Только 1 строка	5,6	16,5	9,5	414

К четвертой группе относятся задачи, в которых оператор обнаруживал новые цели на БЭ или сосчитывал, либо определял заданную характеристику цели. Задачи отличались, помимо этого, типом формуляров цели и использованием табло.

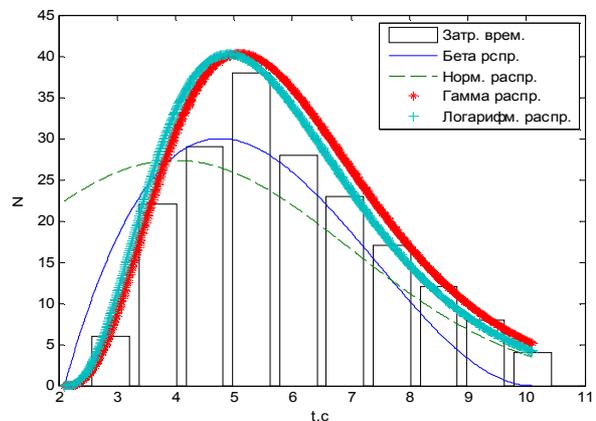


Рис. 3. Гистограмма и плотности распределения времени решения оператором задачи поиска

Результаты исследования приведены в табл. 4 и на рис. 5.

Таблица 4

Результаты исследования

№ п/п	Тип формуляра	Использование в ТХЦ	Тип задачи	Значения χ^2			
				Усечен. норм.	Усечен. норм.	Усечен. норм.	Усечен. норм.
1.	Короткий	Нет	Обнаруж.	54,3	13,0	68,6	12,9
2.	Короткий	Нет	Чтение хар.	27,9	19,1	185	9,3
...
3.	Полный	Нет	Опред. характер.	14,7	3,2	24,3	2,8

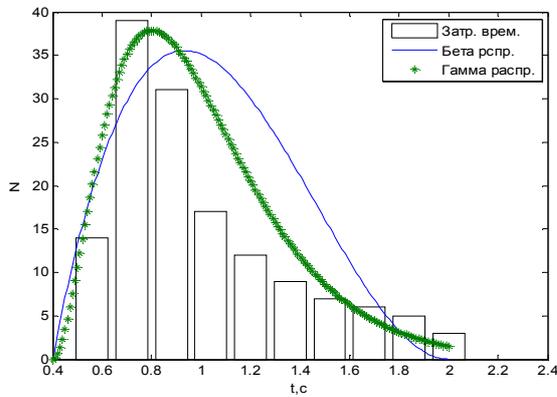


Рис. 5. Гистограмма и плотности распределения времени решения оператором задачи поиска с условием

Анализ приведенных результатов показывает, что, как правило, происходит хорошее совпадение эмпирического распределения с какими-либо двумя теоретическими. Трудно отдать предпочтение какому-либо из рассмотренных: априорных распределений, так как оценка вероятности их совпадения с эмпирическими примерно одинакова:

- усеченное нормальное $P_{совп} \approx 0,4$;
- логарифмически нормальное $P_{совп} \approx 0,3$;
- бета распределения $P_{совп} \approx 0,35$;
- гамма распределение – $P_{совп} \approx 0,4$.

Во многих случаях большой интерес представляет получение p – квантильной оценки времени решения различных задач t_p . В связи с этим возникает вопрос: какова погрешность в определении t_p .

Сравнение квантильных оценок времени решения рассмотренных задач показывает, что при уровне 0,9 максимальная погрешность в определении $t_{0,9}$ для рассмотренных теоретических распределений в среднем составляет:

Причем $\Delta t_{0,9}$ определялось независимо от совпадения априорных распределений с эмпирическими.

Во многих случаях предпочтительным оказывается то распределение, которое имеет более простое аналитическое выражение и параметры которого легко могут быть определены. С этой точки зрения в лучшую сторону выделяется частный случай бета распределения (4), которое широко используется для задания временных оценок, входящих в сетевой проект работ.

Распределение (4) характеризуется лишь двумя параметрами и t_1 и t_2 (т. е. минимальным и максимальным временем решения задачи), в то время как остальные рассмотренные распределения характеризуются тремя параметрами.

Основные операции, выполняемые оператором, представляют собой совокупность последовательно выполняемых элементарных действий (ЭД) (время их выполнения – $t_{эд}$). При работе с ИМ к наиболее часто выполняемым ЭД относятся: поисковые движения глаз оператора, фиксация взгляда, восприятие и оценка критических объектов (формуляров, знаков и т.д.). Поэтому для оценки среднего времени выполнения нескольких ЭД (t_0) можно использовать сумму значений $t_{эд}$.

Важно отметить, что из-за воздействия большого числа факторов объективного и субъективного характера $t_{эд}$ и t_0 являются случайными величинами. Поэтому в интересах повышения достоверности оценок показателей выполнения отдельных операций используем распределения вероятностей оценок $t_{эд} = f(\tau)$. Результаты многих исследований, например, [6], свидетельствуют о том, что $f(\tau)$, как правило, усеченное ($\tau \geq t_1, \tau \leq t_2$) несимметричное унимодальное распределение.

В [5] на основе анализа статистического материала предпочтение отдано упрощенной математической модели бета распределения следующего вида:

$$p(\tau) = \frac{12}{(t_2 - t_1)^2} (\tau - t_1)(t_2 - \tau)^2. \quad (7)$$

Такое распределение асимметрично и ограничено снизу (t_1) и сверху (t_2), что в полной мере соответствует реальным процессам выполнения операций. Для задания априорной плотности бета распределения достаточно задать t_1 и t_2 . Математическое ожидание времени выполнения операции и дисперсия равны

$$\bar{t} = \frac{3t_1 + 2t_2}{5}; \quad D = 0,04(t_2 - t_1)^2. \quad (8)$$

Для оценок $t_{эд}$ используем распределение (7).

Проведение анализа деятельности оператора с построением плоскостной модели [5] позволяет бо-

лее точно определить структуру деятельности оператора, выделить основные материальные (объекты управления, средства отображения информации (СОИ), элементы управления и др.) и нематериальные (интеллектуальные, волевые, чувственные) стороны деятельности оператора. При этом основные однотипные действия оператора выделяются в рамках единой плоскости и могут быть изучены самостоятельно и обособленно и при последующем уточнении характеристик деятельности опять включатся в разрабатываемую модель. При этом модель плоскости может быть:

– простой: Имеется множество отдельных однотипных операций не связанных между собой. Каждая операция имеет связи только с элементами или группами элементов других плоскостей;

– сложной: Имеется множество отдельных однотипных операций связанных между собой. Могут иметь место связи, как отдельной операции, так и группы операций с элементами или группами элементов других плоскостей;

– смешанной: Имеется множество отдельных однотипных операций, как связанных, так и не связанных между собой. Могут иметь место связи, как отдельной операции, так и группы операций с элементами или группами элементов других плоскостей.

При использовании предложенного подхода к построению модели деятельности оператора могут быть реализованы все преимущества метода поэтапного моделирования, как относительно всей модели в целом, так и относительно каждой плоскости в отдельности.

Это позволит повысить точность и адекватность построения модели деятельности оператора в целом.

Выводы

Предложенный подход к моделированию деятельности оператора является эмпирическим и требует разработки математического описания и исследования предложенной модели. В данной модели деятельность оператора распределена (более образным понятием

будет растворена) между плоскостями. При этом сохраняется достаточный уровень детализации отдельных сторон деятельности оператора при сохранении целостного представления о процессе его деятельности и характерных особенностях психологической и моторной деятельности оператора.

Решена одна из наиболее важных задач моделирования деятельности оператора – выбор закона распределения времени выполнения элементарных действий оператором АСУ. Выбор усеченного бета распределения соответствует реальным процессам и имеет обоснованное ограничение слева и справа на выполнение действий оператором.

Список литературы

1. Венда В.Ф. Инженерная психология и синтез систем отображения информации / В.Ф. Венда. – М.: Машиностроение, 1975. – 398 с.
2. Серeda Г.К. Инженерная психология / Г.К. Серeda, Г.В. Бочаров, Г.В. Репкина. – К.: Вища школа, 1976. – 307 с.
3. Душков Б.А. 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.
4. Низенко Б.И., Павленко М.А., Шило С.Г., Бердник П.Г. Разработка метода адаптивного управления информационными моделями в подсистеме информационного обеспечения процесса принятия решения по управлению сложными динамическими системами // Системи обробки інформації. – Х.: ХВУ, 2004. – Вип. 11(39). – С. 126-132.
5. Павленко М.А. Метод анализа деятельности оператора автоматизированных систем управления воздушным движением / М.А. Павленко, П.Г. Бердник, И.Ю. Хромов // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2007. – Вип. 1(59). – С. 78-81.
6. Метод разработки системы информационного обеспечения процессов оценки состояния объектов управления оператором / Ю.П. Пятков, М.А. Павленко, П.Г. Бердник, О.С. Бодяк, В.Н. Руденко // Збірник наукових праць ХУ ПС. – Х.: ХУПС, 2006. – Вип. 4(4). – С. 88-94.

Поступила в редколлегию 17.04.2012

Рецензент: канд. техн. наук, проф. Б.М. Судаков НТУ «ХПИ», Харків.

ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ ЧАСУ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ДІЯЛЬНОСТІ ОПЕРАТОРА АСУ

М.А. Павленко, С.В. Кукобко, М.Ю. Гусак

У статті обґрунтовано вибір закону розподілу часу при моделюванні діяльності оператора АСУ. Рішення даної задачі дозволяє підвищити описові можливості моделі діяльності оператора і підвищити якість отримуваних оцінок його діяльності на різних етапах моделювання.

Ключові слова: оператор, моделювання діяльності, імітаційне моделювання.

RATIONALE CHOICE OF THE APPORTIONMENT LAW TIME TO MODELING ACTIVITIES OPERATOR ACS

M.A. Pavlenko, S.V. Kukobko, M.Y. Gysak

In the article grounded choice of law of distributing of time at design of activity of operator to ACS. The decision of this task allows to promote descriptive possibilities of model of activity of operator and promote quality of the got estimations of his activity on the different stages of design.

Keywords: operator, design of activity, imitation design.