

## Анализ математической модели памяти человека-оператора при обработке предполетной информации

В статье приведен математический анализ теоретико-информационной модели памяти человека-оператора при обработке предполетной информации. Получены графики зависимости обработки информации от скорости ее поступления. На основании анализа предложена формализация информационной подготовки к полету в автоматизированной системе подготовки предполетной информации.

**человек-оператор, теоретико-информационные модели памяти, модель памяти, количество информации, автоматизированная система подготовки предполетной информации**

Одним из условий безопасного выполнения полета является тщательная подготовка экипажа воздушного судна (ЭВС) к полету. Однако анализ авиационных происшествий показал, что причиной многих из них стали ошибки, допускаемые пилотами на этапе подготовки к полету во время изучения информации [1]. Информация, необходимая для предполетного обслуживания имеет разнородный характер (карты, схемы, таблицы, текстовая и кодированная информация) и большой объем [2], поэтому в современных условиях критически важное значение приобретает умение пилотов правильно воспринять, оценить и переработать объем поступающей информации [3].

---

© О.В. Артеменко, Т.Ф. Шмелева, 2011

Большое значение в предполетном обслуживании имеет организация наилучших условий сбора и обработки информации на этапе планирования и обеспечения полета ВС. В общем случае это проблема обеспечения наилучших условий сбора, обработки и предоставления выборочной информации, относящейся к задаче выполнения полета. В период до второй половины XX века в большинстве случаев подразумевалось, что средства связи и управления определяются лишь телефонной, телеграфной аппаратурой или радиосредствами. Сбор и обработка информации являлась прерогативой человека. Вычислительная техника обычно считалась “обеспечивающей техникой” вместе с учебно-тренировочной, ремонтной, санитарной и т.п. техникой. Внедрение автоматизированных средств управления в корне изменили это положение. Вычислительные, информационно-логические, управляющие и моделирующие устройства – важнейшее звено в организации управления процессом сбора, обработки и хранения информации. Для оценки качества и количества информации необходимо обеспечить ее получение и обработку для последующего использования (передачи).

Для совершенствования подготовки к полету и предоставления экипажу необходимой выборочной информации предлагается использовать автоматизированную систему подготовки предполетной информации (АСППИ) [4]. Однако решение проблем, возникающих при взаимодействии человека и машины, требует количественного учета особенностей как человека, так и машины. Важной стороной этого взаимодействия является описание памяти человека, ее возможностей обработки и усвоения поступающей информации [5].

Обоснование выбора теоретико-информационной модели памяти.

Восприятие и обработка информации человеком-оператором как специфическое его свойство, проявляющееся в его трудовой деятельности, во многом определяет

качественные и количественные характеристики используемых при этом различных устройств. Но до настоящего времени нет достаточно полной системы, описывающей формально как процессы обработки информации в памяти человека, так и оптимальные способы взаимодействия человека-оператора и различных устройств в системах автоматического управления.

Описание памяти человека, ее возможности обработать и усвоить поступающую информацию является важным аспектом при создании и описании человеко-машинных систем. Математическая модель, описывающая вышеуказанные процессы должна содержать описание процессов приема материала, его хранение в течении определенного времени, распознавания предметов и объектов, воспроизведения информации, использования информации в своей деятельности. Количественная оценка этих характеристик памяти основана на получении математических зависимостей между характеристиками поступающей информации (объемом, видом, скоростью поступления) и скоростью ее запоминания, длительностью хранения и т.п. Т.о., память человека – некоторая информационная система, непрерывно занятая приемом, видоизменением, хранением и извлечением информации.

Процессы приёма, обработки и хранения информации в памяти человека характеризуются такими показателями:

- максимальные скорости приёма информации человеком через различные органы чувств приведены в [6, с.23, таблица 1.1];

- максимальное быстроедействие человека как передатчика информации составляет ~ 40 дв. ед., а средняя скорость выполнения человеком простых операций без предварительной тренировки – 2 дв. ед./с. [7,8];

- максимальная скорость обработки информации человеком 3...4 слов/с. [9]. При медленном чтении, ведущем к пониманию прочитанного, эта скорость составляет 2,5 слов/с. (~ 18 дв. ед./с.) [10]. Эта скорость у лётных экипажей при выполнении длительных полётов 1,41...8,3 бит/с. (при световом раздражителе), 0,44...5,27 бит/с. (при звуковом раздражителе) [11].

В [12] скорость восприятия человеком поступающих сигналов оценивается в пределах 18,2...24,4 бит/с или ~ 10 сигналов в 1 с [7].

Скорость опознания человеком предметов на телевизионном экране в [13] оценивается величиной 30...40 бит/с. Человеческий мозг усваивает информацию со скоростью 0,2...1 бит/с., а максимальная величина скорости приёма и обработки информации составляет 50... 70 бит/с. [8].

Предлагаемая схема изучения и использования информации для подготовки к полету и принятия решения описывается как взаимодействие человека-оператора и машины.

Произведем оценку поступающей и обрабатываемой информации на основании моделей памяти. Теоретико-информационные модели памяти (ТИМП) предполагают, что возможности памяти человека-оператора по обработке информации ограничены [14]. Исследование и совершенствование моделей данного класса позволяет выяснить как:

- количество информации, обрабатываемой в памяти человека, зависит от объема и количества (скорости) поступающей информации;

- как связан темп усвоения информации с темпом поступления новой информации и количеством ранее усвоенной информации.

Исследования Приснякова-Присняковой моделей памяти дали возможность разработать теоретическую модель работы памяти человека-оператора. Однако разработанная ими модель приведена в общем виде. Авторы сравнивают имеющиеся экспериментальные данные других авторов (Сперлинга, Эбингауза) с теоретическим результатом путем подбора параметров решения основного дифференциального уравнения модели. Общих выводов и анализа предложенной математической модели

авторами приведено не было.

Анализ математической модели памяти. Для решения поставленных задач предполетного информационного обслуживания, используя общее решение основного дифференциального уравнения Приснякова-Присняковой [6], необходимо провести его математический анализ. Это даст возможность выяснить соответствие модели реальной физической сущности происходящих процессов при приеме, переработке и передаче информации человеком-оператором.

Пусть в момент времени  $t$  в памяти человека-оператора (ЧО) хранится  $I(t)$  единиц информации. Тогда скорость изменения количества информации в памяти:

$$\frac{d}{dt}I(t) = \Delta I \quad \text{или} \quad \frac{d}{dt}I(t) = R(t) - R_0(t), \quad (1)$$

где  $R=R(t)$  – скорость получения информации («приход» информации в память в единицу времени), которая зависит от характеристик источника  $S$  (карты, формуляры, текст, таблицы и др.);

$R_0(t)$  – скорость уменьшения количества информации («расход» информации из памяти, связанный с процессом забывания информации);

$\Delta I = R(t) - R_0(t)$  – прирост количества информации в единицу времени.

Принимаем

$$R_0(t) = \frac{\mu}{T}(I(t) - I_\infty), \quad (2)$$

где  $I_\infty$  – количество информации в памяти по истечении достаточно большого промежутка времени;

$\mu \leq 1$  – коэффициент забывания (в общем случае зависит от объема памяти, способа подачи информации, характеристик индивидуума);

$T = const$  – коэффициент, характеризующий соотношение между объемом памяти (объемом уже имеющейся информации) и скоростью его изменения.

После соответствующих преобразований было получено уравнение модели памяти ЧО при восприятии и обработке предполетной информации с учетом характера информации:

$$I(t) = I_\infty + e^{-\frac{\mu t}{T}} \cdot \left( \int e^{\frac{\mu t}{T}} \cdot R(t) dt + C \right), \quad (3)$$

При  $\tau = \frac{t}{T}$ , уравнение (3) принимает вид:

$$I(\tau) = I_\infty + e^{-\mu\tau} \cdot \left( \int e^{\mu\tau} \cdot T \cdot R(\tau) d\tau + C \right), \quad (4)$$

где  $C$  – произвольная постоянная интегрирования, определяемая из начальных условий, при  $\tau = 0, I(t = 0) = I_0$ .

Рассмотрев некоторые частные случаи для оценки величин параметров  $\mu, T$  и  $I_\infty, I_0$  при  $R(\tau) = R = const$  получаем решение уравнения (4):

$$I(\tau) = I_\infty + \frac{R \cdot T}{\mu} + e^{-\mu\tau} \cdot \left( I_0 - I_\infty - \frac{R \cdot T}{\mu} \right). \quad (5)$$

Приняв  $i(\tau) = \frac{I(\tau)}{I_\infty}, p = \frac{R \cdot T}{\mu \cdot I_\infty}, i_0 = \frac{I_0}{I_\infty}$ , (при  $\tau = \frac{t}{T}$ ) упрощаем

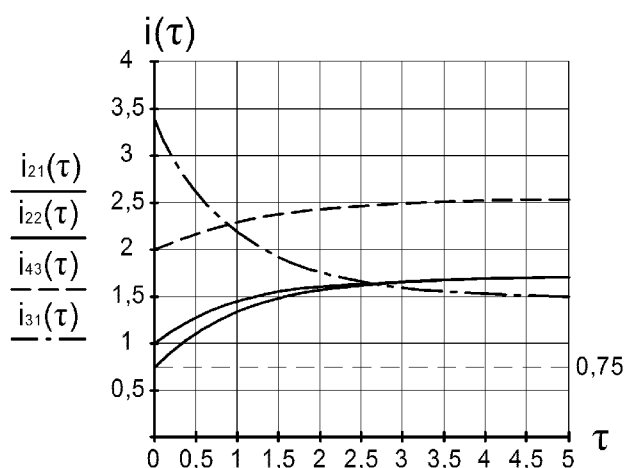
выражение (5) и приводим к следующему виду:

$$i(\tau) = 1 + p + e^{-\mu \cdot \tau} \cdot (i_0 - 1 - p). \quad (6)$$

Выражение (6) позволяет прогнозировать процесс накопления (или потери) информации в памяти человека в зависимости от:

- его индивидуальных особенностей, определяемых параметром  $p$ ;
- уровня первоначального количества информации, определяемого параметром  $i_0$ ;
- скорости поступления информации  $R = \text{const}$ , (входящей в параметр  $p$ ) и интенсивностью ее забывания (определяемой параметром  $\mu$ ).

Изменяя параметры модели  $\mu$ ,  $p$ ,  $i_0$  получим графики зависимости обработки информации памятью от скорости ее поступления (рис. 1).



$$i_{21}(\tau) = 1,7 - 0,95 \cdot e^{-\tau}; \quad i_{22}(\tau) = 1,7 - 0,7 \cdot e^{-\tau}; \quad i_{31}(\tau) = 1,5 + 1,9 \cdot e^{-\tau}; \quad i_{43}(\tau) = 2,5 - 0,5 \cdot e^{-\tau}$$

Рисунок 1 – Графики зависимости обработки информации памятью от скорости ее поступления

Значения функции  $i(\tau)$  при изменении параметров приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Кодировки значений функций

$\begin{matrix} p \\ i_0 \end{matrix}$	0,1	0,7	1	2,5
0,75	$i_{11}$	$i_{12}$	$i_{13}$	$i_{14}$
1	$i_{21}$	$i_{22}$	$i_{23}$	$i_{24}$
3	$i_{31}$	$i_{32}$	$i_{33}$	$i_{34}$

Как видно из графиков некоторых функций  $i(\tau)$  построенных на рис. 1, количество информации в памяти человека при постоянной скорости ее поступления с течением времени стабилизируется (модель учитывает как поступление новой, так и забывание уже полученной информации).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что скорость усвоения информации прямо пропорциональна скорости поступления информации и пропорционально уменьшается с ростом количества ранее усвоенной информации. Коэффициенты пропорциональности зависят от информационного содержания предоставляемых материалов и обусловлены возможностями памяти человека.

Рассмотренные модели памяти показывают, что объем информации, необходимой в целях предполетного планирования, достаточно большой для восприятия. Вследствие этого задерживается обработка и правильное восприятие поступающей информации. Таким образом, теоретико-информационная модель памяти послужила теоретической основой для разработки информационной модели

автоматизированной системы подготовки предполетной информации (АСППИ).

На АСППИ будет возложена функция информационной подготовки, что позволит автоматизировать информационное обеспечение полета. Информационная подготовка принятия решения связана с отбором такой информации об управляемом объекте и среде, которая позволяет достичь максимальной эффективности решения. Применительно к задаче обеспечения экипажа воздушного судна информацией, были выделены виды полетов, а также классифицирована и обобщена информация, относящаяся к конкретному виду полета [15].

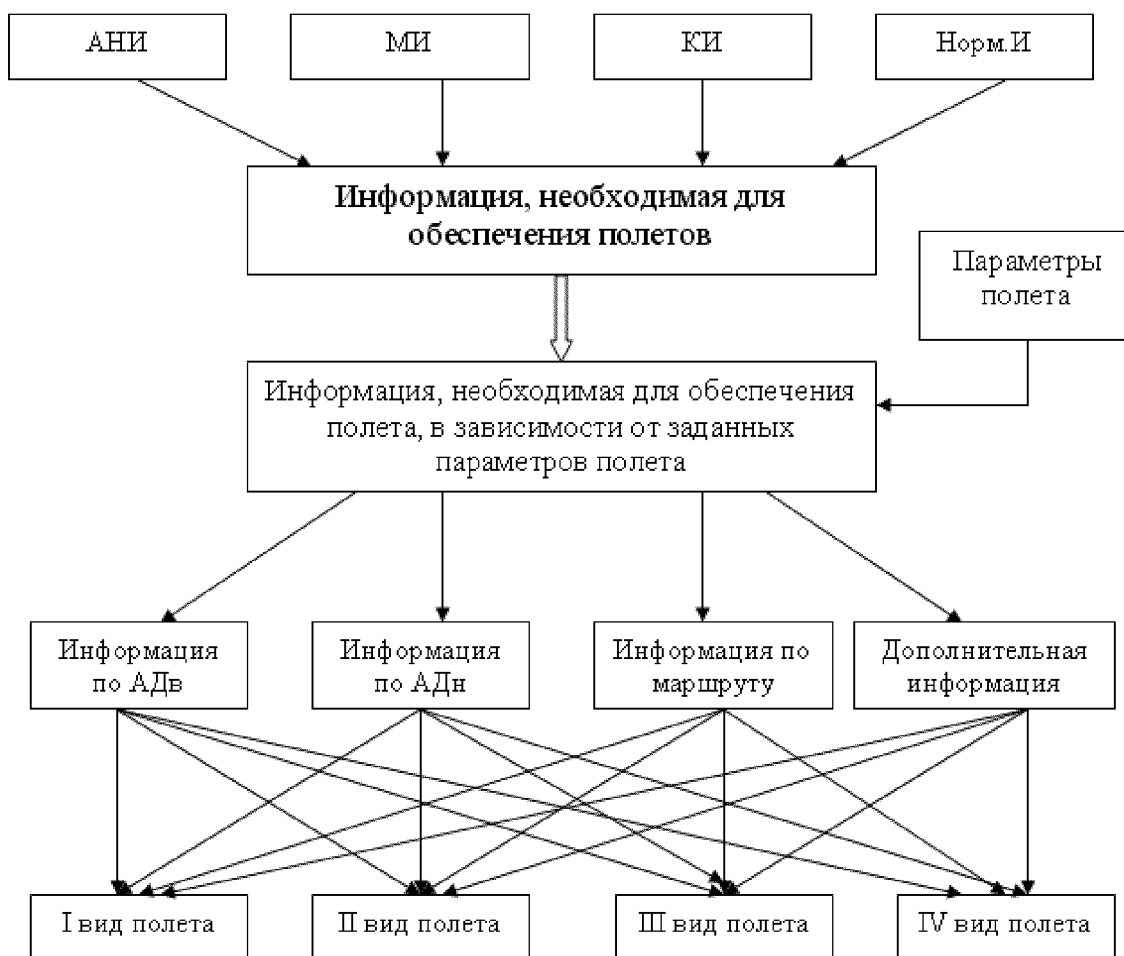
Формализация информационной подготовки позволит распознавать ситуации (виды полетов), отбирать необходимую информацию и оптимизировать условия восприятия данных.

Информационная подготовка обеспечения полета состоит из нескольких этапов (таблица 2), на каждом из которых происходит определенное распределение информационных потоков.

Таблица 2 - Этапы информационной подготовки

<b>Задача обеспечения полета</b>	<b>Этапы информационной подготовки</b>
Подготовка информации, необходимой в целях предполетного планирования	Сбор всей информации, необходимой для обеспечения полетов
	Выбор всей необходимой информации для обеспечения полета в зависимости от заданных параметров полета
	Формирование информационных блоков: сортировка информации по аэродрому (АД) вылета, АД назначения, маршруту и другой в соответствии с заданными параметрами полета
	Распределение информации по видам полета

Иерархическая схема распределения информационных потоков в АСППИ представлена на рис. 2.



АНИ – аэронавигационная информация; МИ – метеорологическая информация; КИ – картографическая информация; Норм.И – нормативная информация; АДв – аэродром вылета; АДн – аэродром назначения

Рисунок 2 – Иерархическая схема распределения информационных потоков

### Выводы.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что скорость усвоения информации прямо пропорциональна скорости поступления информации и пропорционально уменьшается с ростом количества ранее усвоенной информации. Коэффициенты пропорциональности зависят от информационного содержания предоставляемых материалов и обусловлены возможностями памяти человека.

Таким образом, рассмотренные модели памяти показывают, что объем информации, необходимой в целях предполетного планирования, достаточно большой для восприятия. Вследствие этого задерживается обработка и правильное восприятие поступающей информации. Это доказывает целесообразность разработки применения в предполетном обслуживании АСПИ.

Кроме этого анализ предполетного информационного обеспечения показал, что предполетная информация настолько разноплановая, что невозможно привести ее к единому виду (например, применить кодирование), к тому же в некоторых ситуациях она не является обязательной для изучения. Решение данных проблем в целях решения задач предполетного обеспечения состоит в необходимости группирования, объединения и обобщения информации и факторов.

### Список литературы

- 1 Швец В.А. Анализ состояния аварийности гражданских воздушных судов Украины за период

- 1998–2007 гг. Госавиаадминистрация / В.А. Швец, О.Н. Алексеев. 2008. – 83 с.
- 2 Руководство по Службам аэронавигационной информации. – Дос. 8126 ИКАО. 2006. – 459 с.
  - 3 Лебедев С.Б. Основы теоретической подготовки диспетчеров по обеспечению полетов. – 2-е изд., перер. и доп. / Лебедев С.Б. Авиакомпания «Международные Авиалинии Украины». – Киев, 2005. – 796 с.
  - 4 Артеменко О.В. Автоматизация подготовки предполетной информации / О.В. Артеменко Интегровані інформаційні технології та системи (ІПТС-2005) // Матеріали науково-практичної конференції молодих учених та аспірантів. – К.: НАУ, 2005. – С. 65-68.
  - 5 Егоров К.В. Аспекты инженерной деятельности / Егоров К.В. – М.: МЭИ, 1980. – 85 с.
  - 6 Присняков В.Ф. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем / В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова. – М.: Машиностроение, 1990. – 248 с.
  - 7 Вудсон У. Справочник по инженерной психологии для инженеров и художников – конструкторов / Вудсон У., Канювер Д.; пер. с англ. под редакцией к.т.н. В.Ф. Венды. – М.: Мир, 1968. – 518 с.
  - 8 Инженерная психология в военном деле / [под общей редакцией чл.- корр. АН СССР Б.Ф. Ломова]. – М.: Воениздат МО СССР, 1983. – 224 с.
  - 9 Архангельский С.И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. Учебно - методическое пособие / Архангельский С.И. – М.: ВШ, 1980. – 380 с.
  - 10 Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем / Беспалько В.П. – Воронеж: ГУ, 1977. – 304 с.
  - 11 Бондарев Э.В. Изменение скорости переработки информации у лётного состава в процессе выполнения длительных полётов / Э.В. Бондарев, Г.И. Гурвич и др. – М.: Наука, 1967. – с 82 – 85. – (В сборнике «Проблемы инженерной психологии»).
  - 12 Инженерная психология / [под редакцией к.т.н. Г.К. Середы]. – К.: ВШ, 1976. – 308 с.
  - 13 Меньшов А. Л. Космическая эргономика / Меньшов А. Л. – Л.: Наука, 1971. – 296 с.
  - 14 Присняков В.Ф. К изучению процессов переработки информации памятью [человка] / В.Ф. Присняков, Л.М. Приснякова. – Днепропетровск: ДГУ, 1983. – с. 165 -172. – (В сборнике научных трудов «Приборы и методы автоматизации экспериментальных исследований»).
  - 15 Артеменко О.В. Розробка автоматизованої системи підготовки передпольотної інформації / О.В. Артеменко, Ю.Б. Беляєв, Т.Ф. Шмельова // Науково-практичний журнал «Науково-технічна інформація». – К.: 2010. - №3. – С. 41-44.

*О. Артеменко, Т. Шмельова*

#### **Аналіз математичної моделі пам'яті людини-оператора при обробці передпольотної інформації**

В статті приведено математичний аналіз теоретико-інформаційної моделі пам'яті людини-оператора при обробці передпольотної інформації. Отримані графіки залежності обробки інформації від швидкості її надходження. На основі аналізу запропоновано формалізацію інформаційної підготовки до польоту в автоматизованій системі підготовки передпольотної інформації.

*О. Artemenko, T. Shmeleva*

#### **The analysis of mathematical model of memory of the person-operator at processing of the preflight information**

In article the mathematical analysis of teoretiko-information model of memory of the person-operator is resulted at processing of the preflight information. Schedules of dependence of processing of the information from speed of its receipt are received. On the basis of the analysis formalisation of information preparation for flight in the automated system of preparation of the preflight information is offered.

Одержано 11.03.11