

# Формирование навыка ведения пространственной ориентировки по авиагоризонту «ВИД С ВОЗДУШНОГО СУДНА»: МЕТОД И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Авиагоризонты типа «вид с воздушного судна» в сложной ситуации могут стать причиной нарушения пространственной ориентировки пилота. Новый метод обучения позволяет повысить устойчивость соответствующих навыков пилотирования и может быть включен в действующую программу подготовки на процедурных тренажерах. Математическая модель обучения по новому методу дает возможность определить оптимальные объем информации и время ее предъявления в учебном процессе.



**В. В. Балясников,**  
доктор техн. наук, профессор, заведующий  
кафедрой безопасности жизнедеятельности  
СПбГУ ГА



**В. Е. Чепига,**  
доктор физ.-мат. наук, профессор кафедры летной  
эксплуатации и профессионального обучения  
авиационного персонала СПбГУ ГА



**М. В. Барабанов,**  
аспирант кафедры летной эксплуатации  
и профессионального обучения авиационного  
персонала СПбГУ ГА



**Е. А. Цыбова,**  
соискатель кафедры летной эксплуатации  
и профессионального обучения авиационного  
персонала СПбГУ ГА

**П**роцесс формирования образа пространственного положения — сложный элемент обучения пилота. Его формирование требует целенаправленной подготовки, методика которой пока недостаточно разработана [1–4].

Многочисленные теоретические исследования [2–4] показывают, что наилучшим типом авиагоризонта (АГ) является АГ «вид с земли». Но в настоящее время практически на всех гражданских воздушных судах (ВС) установлены АГ типа «вид с ВС», которые в сложной ситуации могут приводить к потере пространственной ориентировки [3]. Существует два способа избежать этой проблемы. Первый состоит в использовании более совершенной индикации, предоставляющей пилоту информацию о положении ВС относительно земной поверхности. Второй предполагает разработку и

внедрение таких методов подготовки, которые позволяют формировать у пилотов навыки ведения пространственной ориентировки в штатном полете, особой ситуации, в том числе и за пределами ограничений ВС.

Основываясь на анализе литературы и собственном опыте, мы выдвинули предположение, что визуализация, при которой ВС отображается на мониторе тренажера подвижно, объемно и в положении хвостовым оперением к оператору, а земля — неподвижно (рис. 1), поможет повысить устойчивость навыков пилотирования ВС по АГ «вид с ВС» в сложных условиях.

Исходя из этого был предложен новый метод обучения.

На первом этапе обучения пилотирование осуществляется на тренажере только по изображению ВС на мониторе, а на последующих этапах — одновременно по изображению ВС и по показаниям АГ «вид с ВС» (рис. 1в). Это, с нашей точки зрения, должно помочь формированию у студентов-пилотов такого образа полета, который обеспечит более устойчивый навык пространственной ориентировки в полете.

Для проверки данной гипотезы была составлена специальная, основанная на использовании АГ «вид с ВС» программа для экспериментальной группы. Она состоит из пяти упражнений и выполнялась на процедурных тренажерах СПбГУ ГА.

В первом упражнении ВС отображается на мониторе тренажера подвижно, объемно и хвостом к оператору, земля неподвижна; один полет длится 10 мин (рис. 1а).

Второе упражнение предполагает управление ВС (отображение аналогично предыдущему) в вертикальной плоскости, т. е. выполнение фигур пилотажа (штопор, бочка, петля); полет длится 15 мин.

В третьем упражнении дополнительно к отображению силуэта самолета вводятся приборы контроля режима (высота и скорость) (рис. 1б); длительность одного полета — 15 мин.

В четвертом упражнении одновременно с отображением силуэта самолета, высотомера и указателя скорости вводятся показания авиагоризонта (рис. 1в); предполагается три полета по 15 мин.

В пятом упражнении пилотирование выполняется по приборам, отображается только приборная панель ВС, силуэт самолета отсутствует; совершается пять полетов по 15 мин.

Программа подготовки на процедурных тренажерах, принятая в настоящее время, включает в себя наземную подготовку, ознакомительный полет в зону и полеты по маршруту с применением средств навигации. Общее время подготовки составляет 27 ч. Программа, предлагаемая нами, занимает 2 ч 40 мин и предназначена не для замены существующей программы, а как дополнение к ней.

На основе данных о времени проведения упражнений и объеме предъявляемой информации была построена математическая модель накопления информации при предъявлении информации с перерывами. При этом использовалась терминология, предложенная в [5]. Математическая модель была применена для определения оптимального времени предъявления информации.

Найдем величину уровня находящейся в памяти пилота информации после каждого упражнения.

Уравнение, описывающее процесс усвоения информации в первом упражнении, будет иметь вид:

$$\bar{I}_1 = (1 - e^{-\bar{\tau}_1}) / \bar{\tau}_1.$$

Вычислим общее количество поступающей информации [6]:

$$I_{\Sigma} = m \log_2 \frac{1}{\Delta l},$$

где  $m$  — число предъявляемых приборов;

$l$  — эффективная длина шкалы прибора (в градусах);

$\Delta l$  — ошибка при чтении прибора (в градусах).

$$I_{\Sigma 1} = 1 \log_2 \frac{30}{2} = 3,33.$$

Рассчитаем темп поступления информации:

$$R = \frac{I_{\Sigma}}{\tau},$$

где  $\tau$  — время предъявления информации (в секундах).

В данном случае  $\tau$  — это время упражнения (10 мин).

$$R_1 = \frac{3,33}{600} = 0,0055.$$

Вычислим постоянную времени:

$$T = \frac{a}{R^{1,1}},$$

где  $a = 2,6$  [5].

$$T_1 = \frac{2,6}{0,0055^{1,1}} = \frac{2,6}{0,0033} = 866,7.$$

Вычислим отношение времени предъявления информации к постоянной времени:

$$\bar{\tau} = \frac{\tau}{T},$$

$$\bar{\tau}_1 = \frac{600}{866,7} = 0,692.$$

Процесс усвоения информации в первом упражнении:

$$\bar{I}_1 = \frac{(1 - e^{-0,692})}{0,692} = \frac{1 - 0,501}{0,692} = 0,721.$$

Полученная величина процесса усвоения информации говорит о правильности выбора времени упражнения и количества предъявляемой информации, что соответствует многочисленным экспериментам [5]. Если объем предъявляемой информации уменьшить,

а)



б)



в)



Рис. 1. Отображение ВС и приборов контроля на мониторе тренажера: а — в первом упражнении; б — во втором; в — в третьем.

то активность оператора понижается, если значительно увеличивать, то наступает перегруженность оператора. Оба изменения объема информации отрицательно сказываются на восприятии информации оператором.

Теперь рассчитаем забывание полученной информации после первого упражнения.

Темп забывания информации:

$$R^* = \frac{I_{\Sigma}}{\tau^*},$$

где  $\tau^*$  — время забывания информации, т. е. время от окончания упражнения до начала следующего (в секундах).

$$R_1^* = \frac{3,33}{300} = 0,011.$$

Вычислим постоянную времени при забывании информации:

$$T^* = \frac{a}{R^{*1,1}},$$

$$T_1^* = \frac{2,6}{0,011^{1,1}} = 371,4.$$

Вычислим отношение времени забывания информации к постоянной времени при забывании информации:

$$\overline{\tau^*} = \frac{\tau^*}{T^*},$$

$$\overline{\tau_1^*} = \frac{300}{371,4} = 0,808.$$

Процесс забывания информации описывается следующим уравнением:

$$\overline{I}_n^* = \overline{I}_{\infty n} + (\overline{I}_n - \overline{I}_{\infty n}) e^{-\overline{\tau_n^*}}.$$

Величина  $I_{\infty}$  (количество информации в памяти по истечении достаточно большого промежутка времени) зависит от длительности перерыва между упражнениями и с каждым упражнением растет, что обусловлено накоплением информации в памяти [5].

$$I_{\infty 1} = 0,64,$$

$$\overline{I}_1^* = 0,64 + (0,721 - 0,64) e^{-0,808} = 0,676.$$

Расчет процесса усвоения информации для следующих упражнений производился по формуле:

$$\overline{I}_n = \left( \frac{1 - e^{-\overline{\tau_n}}}{\overline{\tau_n}} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-\overline{\tau_n}}}{\overline{\tau_n}} \right) \cdot \overline{I}_{n-1}.$$

Числовые выражения для последующих упражнений аналогичны выражениям в первом упражнении.

Произведем расчеты для второго упражнения:

$$I_{\Sigma 2} = 1 \log_2 \frac{360}{5} = 6,17.$$

В данном случае эффективная длина шкалы возросла до 360 градусов, это обусловлено тем, что во втором упражнении ВС вращается вокруг своей оси на 360 градусов, т. е. выполняет фигуры пилотажа.

$$R_2 = \frac{6,17}{900} = 0,0069,$$

$$T_2 = \frac{2,6}{0,0069^{1,1}} = \frac{2,6}{0,004} = 650,$$

$$\overline{\tau_2} = \frac{900}{650} = 1,38.$$

Процесс усвоения информации:

$$\overline{I}_2 = \left( \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) \cdot 0,676 = 0,852.$$

Рассчитаем забывание полученной информации для второго упражнения:

$$R_2^* = \frac{6,17}{172800} = 0,000036,$$

$$T_2^* = \frac{2,6}{0,000036^{1,1}} = 260000,$$

$$\overline{\tau_2^*} = \frac{172800}{260000} = 0,665.$$

Процесс забывания информации:

$$I_{\infty 2} = 0,55 [5],$$

$$\overline{I}_2^* = 0,55 + (0,852 - 0,55) e^{-0,665} = 0,705.$$

Произведем расчеты для третьего упражнения:

$$I_{\Sigma 3} = 3 \log_2 \frac{100}{5} = 12,9.$$

В третьем и последующих упражнениях эффективной длиной шкалы прибора является средняя длина шкалы по трем предъявляемым приборам.

$$R_3 = \frac{12,9}{900} = 0,014,$$

$$T_3 = \frac{2,6}{0,014^{1,1}} = \frac{2,6}{0,009} = 288,9,$$

$$\overline{\tau_3} = \frac{900}{288,9} = 3,115.$$

Процесс усвоения информации:

$$\overline{I}_3 = \left( \frac{1 - e^{-3,115}}{3,115} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-3,115}}{3,115} \right) \cdot 0,705 = 0,796.$$

Рассчитаем забывание полученной информации:

$$R_3^* = \frac{12,9}{120} = 0,107,$$

$$T_3^* = \frac{2,6}{0,107^{1,1}} = 30,6,$$

$$\overline{\tau_3^*} = \frac{120}{30,6} = 3,922,$$

$$\overline{I}_3^* = 0,65 + (0,796 - 0,65) e^{-3,922} = 0,653.$$

Произведем расчеты для первой части четвертого упражнения:

$$I_{\Sigma 4,1} = 4 \log_2 \frac{82}{10} = 12,16,$$

$$R_{4,1} = \frac{12,16}{900} = 0,01,$$

$$T_{4,1} = \frac{2,6}{0,01^{1,1}} = \frac{2,6}{0,006} = 433,3,$$

$$\overline{\tau_{4,1}} = \frac{900}{433,3} = 2,07.$$

Процесс усвоения информации:

$$\overline{I}_{4,1} = \left( \frac{1 - e^{-2,07}}{2,07} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-2,07}}{2,07} \right) \cdot 0,653 = 0,8.$$

Рассчитаем забывание полученной информации:

$$R_{4,1}^* = \frac{12,16}{172800} = 0,00007,$$

$$T_{4,1}^* = \frac{2,6}{0,00007^{1,1}} = 173333,3,$$

$$\overline{\tau_{4,1}^*} = \frac{120}{30,6} = 0,9,$$

$$\overline{I}_{4,1}^* = 0,57 + (0,8 - 0,57) e^{-0,9} = 0,664.$$

Произведем расчеты для второй части четвертого упражнения:

$$I_{\Sigma 4.2} = 4 \log_2 \frac{82}{10} = 12,16,$$

$$R_{4.2} = \frac{12,16}{1800} = 0,006.$$

В данном случае было решено объединить время двух упражнений (30 мин вместо двух упражнений по 15 мин), так как они выполнялись последовательно без перерыва и имеют один темп поступления информации.

$$T_{4.2} = \frac{2,6}{0,006^{1,1}} = \frac{2,6}{0,003} = 866,7,$$

$$\bar{\tau}_{4.2} = \frac{1800}{866,7} = 2,07.$$

Процесс усвоения информации:

$$\bar{I}_{5.1} = \left( \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) \cdot 0,672 = 0,855.$$

Рассчитаем забывание полученной информации:

$$R_{4.2}^* = \frac{12,16}{86400} = 0,0001,$$

$$T_{4.2}^* = \frac{2,6}{0,0001^{1,1}} = 86666,7,$$

$$\bar{\tau}_{4.2}^* = \frac{120}{30,6} = 0,997,$$

$$\bar{I}_{4.2}^* = 0,59 + (0,81 - 0,59)e^{-0,997} = 0,672.$$

Расчеты для первой части пятого упражнения:

$$I_{\Sigma 5.1} = 3 \log_2 \frac{100}{10} = 9,9,$$

$$R_{5.1} = \frac{9,9}{1800} = 0,005,$$

$$T_{5.1} = \frac{2,6}{0,005^{1,1}} = \frac{2,6}{0,002} = 1300,$$

$$\bar{\tau}_{5.1} = \frac{1800}{1300} = 1,38.$$

Процесс усвоения информации:

$$\bar{I}_{5.2} = \left( \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) \cdot 0,736 = 0,879.$$

Рассчитаем забывание полученной информации:

$$R_{5.1}^* = \frac{9,9}{172800} = 0,00005,$$

$$T_{5.1}^* = \frac{2,6}{0,00001^{1,1}} = 260000,$$

$$\bar{\tau}_{5.1}^* = \frac{172800}{260000} = 0,665,$$

$$\bar{I}_{5.1}^* = 0,61 + (0,855 - 0,61)e^{-0,665} = 0,736.$$

Произведем расчеты для второй части пятого упражнения:

$$I_{\Sigma 5.2} = 3 \log_2 \frac{100}{10} = 9,9,$$

$$R_{5.2} = \frac{9,9}{1800} = 0,005,$$

$$T_{5.2} = \frac{2,6}{0,005^{1,1}} = \frac{2,6}{0,002} = 1300,$$

$$\bar{\tau}_{5.2} = \frac{1800}{1300} = 1,38.$$

Процесс усвоения информации:

$$\bar{I}_{5.2} = \left( \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-1,38}}{1,38} \right) \cdot 0,736 = 0,879.$$

Рассчитаем забывание полученной информации:

$$R_{5.2}^* = \frac{9,9}{172800} = 0,00005,$$

$$T_{5.2}^* = \frac{2,6}{0,00001^{1,1}} = 260000,$$

$$\bar{\tau}_{5.2}^* = \frac{172800}{260000} = 0,664,$$

$$\bar{I}_{5.2}^* = 0,63 + (0,879 - 0,63)e^{-0,664} = 0,767.$$

Расчеты для третьей части пятого упражнения:

$$I_{\Sigma 5.3} = 3 \log_2 \frac{100}{10} = 9,9,$$

$$R_{5.3} = \frac{9,9}{900} = 0,01,$$

$$T_{5.3} = \frac{2,6}{0,01^{1,1}} = \frac{2,6}{0,005} = 520,$$

$$\bar{\tau}_{5.3} = \frac{900}{520} = 1,7.$$

Процесс усвоения информации:

$$\bar{I}_{5.3} = \left( \frac{1 - e^{-1,7}}{1,7} \right) + \left( 1 - \frac{1 - e^{-1,7}}{1,7} \right) \cdot 0,767 = 0,88.$$

Схематически процесс накопления информации изображен на рис. 2.

Кроме того, были проведены математические расчеты с различными интервалами времени предъявления информации (больших и меньших, чем приведенные в расчетах). Они позволили

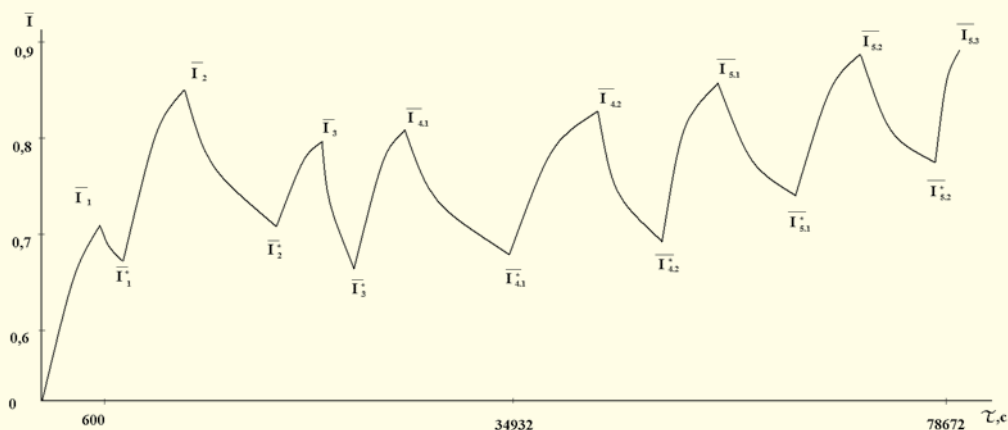


Рис. 2. Процесс накопления информации

сделать вывод о том, что время упражнения, равное 15 мин, является оптимальным, и только в заключительном упражнении имеет смысл незначительно увеличить время предъявления информации или уменьшить объем предъявляемой информации. Уменьшить объем предъявляемой информации можно за счет оптимизации маршрута считывания показаний с приборов.

Таким образом, слабый рост усвоения информации на конечном этапе программы обучения является показателем того, что необходимый уровень навыков по ведению пространственной ориентировки достигнут.

Предложенная математическая модель хорошо согласуется с результатами эксперимента, проведенного на кафедре летной эксплуатации и профессионального обучения авиационного персонала СПбГУ ГА [1]. Их статистическая обработка говорит об эффективности описанного метода обучения. Использование математического моделирования дало возможность определить оптимальное время предъявления информации. ■

#### Литература

1. Барабанов М. В., Коваленко Г. В. Экспериментальная проверка метода формирования навыков по ведению пространственной ориентировки с использованием авиагоризонта «вид с ВС» // Вып. IV. СПб.: СПб ГУГА, 2010. С. 11–30.
2. Коваленко П. А. Пространственная ориентировка пилотов. Психологические особенности. М.: Транспорт, 1989. 230 с.
3. Коваленко П. А., Пономаренко В. А., Чунтул А. В. Учение об иллюзиях полета. Основы авиационной делиологии. М.: Институт психологии РАН. 2006. 461с.
4. Завалова Н. Д., Ломов Б. Ф., Пономаренко В. А. Образ в системе психической регуляции деятельности. М.: Наука, 1986. 174 с.
5. Присняков В. Ф., Приснякова Л. М. Математическое моделирование переработки информации оператором человеко-машинных систем. М.: Машиностроение, 1990. 248 с.
6. Проблемы инженерной психологии. М.: Наука, 1967. 196 с.

# Расчетный метод определения параметров пространственного движения самолета по результатам траекторных измерений

Поскольку в реальных условиях летной эксплуатации параметры математической модели динамики полета воздушного судна приходится определять в условиях неполноты исходных данных, целесообразно применение для этого расчетных методов. В частности, возможности для определения параметров полета предоставляет математическая модель движения центра масс самолета.



**Г. В. Коваленко,**  
доктор техн. наук, профессор, заведующий  
кафедрой летной эксплуатации и  
профессионального обучения авиационного  
персонала СПбГУ ГА



**В. А. Дмитриев,**  
канд. техн. наук, доцент кафедры летной  
эксплуатации и профессионального обучения  
авиационного персонала СПбГУ ГА



**Г. А. Волков,**  
пилот 1-го класса, профессор кафедры  
безопасности полетов СПбГУ ГА

Одним из основных направлений обеспечения безопасной эксплуатации воздушных судов является совершенствование методов анализа полетной информации с целью повышения эффективности ее использования [1].

Практика показывает, что полетная информация, являясь источником объективных данных о полете, крайне необходима как при

решении задач расследования авиационных происшествий (АП), так и при текущем контроле (мониторинге) качества рейсовых полетов воздушных судов (ВС). В обоих случаях особая роль отводится расчетно-экспериментальным методам анализа динамики полета ВС при решении различных траекторных задач.

В реальных условиях летной эксплуатации параметры математической модели (ММ) приходится определять на основе ограниченного объема зашумленных данных. При этом, как правило, сильно зашумлены управляющие функции (ошибки пилота), зашумлены выходные измеряемые параметры системы «Экипаж — ВС» (а некоторые из них по разным причинам вообще ненаблюдаемы). Таким образом, в условиях неполноты исходных данных (например, пропущенных измерений) по-прежнему актуальным является применение и развитие расчетных методов.

#### Выбор и обоснование математической модели движения ВС на расчетном участке траектории

Выберем в качестве исходной (базовой) ММ наиболее известную и хорошо апробированную систему дифференциальных уравнений, описывающих пространственное движение центра масс (ЦМ) самолета в случае полета без скольжения [2].

Эта система уравнений с использованием понятия «перегрузка» (уравнения в перегрузках) записывается в проекциях на оси траекторной системы координат  $O X_k Y_k Z_k$  в следующем виде: