

Структура концептуальной модели оператора, формируемой при заходе на посадку



Я. М. Далингер,
канд. техн. наук,
заведующий кафедрой
прикладной математики,
проректор по
информатизации и
региональному образованию
Санкт-Петербургского
государственного
университета гражданской
авиации (СПбГУ ГА)



Г. В. Коваленко,
д-р техн. наук, профессор,
заведующий кафедрой
летной эксплуатации
и профессионального
обучения авиационного
персонала СПбГУ ГА



И. С. Муравьев,
аспирант кафедры
летной эксплуатации
и профессионального
обучения авиационного
персонала СПбГУ ГА

Серьезную проблему в процессе подготовки командиров вертолётов представляет обучение начинающих пилотов навыкам практического захода на площадку с самостоятельным подбором её с воздуха (ПСПВ). Поскольку существующие учебные программы не всегда доказывают свою эффективность, возникает потребность в разработке качественного тренинга, основанного на современных научных достижениях.

Обучение командира воздушного судна (КВС) заходу на ПСПВ по программе подготовки сводится сегодня к следующему: даются тренировочные полеты в установленном количестве и считается, что пилот должен освоить такой вид полетов. Однако мы видим, что это не так, поскольку командно-летный состав не допускает более 50 % прошедших подготовку пилотов к самостоятельному выполнению таких полетов. Уровень подготовки экипажей вертолетов снижается.

Данная практическая задача позволяет сформулировать две научные проблемы (подзадачи):

а) организация и выбор методов обучения пилотов для более эффективной подготовки КВС. Иначе говоря, найти способ повысить процент подготовленных пилотов;

б) разработка научно обоснованного метода определения уровня подготовленности КВС.

Некоторым подходам для решения задачи в части «а» посвящены работы [1, 2]. В данной статье рассмотрен возможный метод решения подзадачи «а», а также предложен общий план эксперимента, который позволит решить подзадачу «б».

Главная сложность при выполнении ПСПВ заключается в том, что успех безопасной посадки зависит от правильности действий экипажа уже в самом начале захода и даже при подготовке к нему, эта отдаленность действий от их результата требует развития у пилота (оператора) такого качества, как предвидение, прогнозирование результатов своих действий.

Известно, что способность прогнозировать свои действия зависит от того, насколько пилот (оператор) обеспечен информацией, и от навыков работы с информационной и концептуальной моделями [3].

Эффект предвидения исследовался Л. Д. Чайновой [4]. На основе статистического анализа характеристик биотоков мозга, полученных в опытах по непрерывному слежению, она обнаружила их закономерное изменение не только в связи с предъявлением стимула, но и за 5–7 с до его предъявления. Эти реакции, предшествовавшие стимулу, автор рассматривает как появления особого состояния психологической активности испытуемых, направленного на экстренное обнаружение и распознавание сигнала. Так как подобные реакции возникали не сразу, а после формирования у испытуемых достаточного представления о закономерности изменения сигнала, автор объясняет подобные сигналы как определенную настройку нервной системы на появление ожидаемого сигнала. Л. Д. Чайнова высказывает предположение об образовании в корковых структурах мозга такого аппарата, который позволяет с определенной вероятностью предвидеть различный ход событий. Эффект предвидения выражается в повышении чувствительности зрительного анализатора. С усложнением условий опыта частота появления реакций предвидения возрастает, это является дополнительным свидетельством того, что указанные реакции выполняют функции настройки анализатора на лучшее восприятие сигнальных раздражителей.

В сложных современных системах управления оператор принимает реше-

ние и действует исходя из более расширенной информации, чем та, которую предлагает информационная модель. На основе полученных ранее знаний и опыта работы оператор заблаговременно располагает определенным объемом дополнительных сведений о состоянии системы по сравнению с теми, которые отражены в информационной модели или вытекают из нее. Данные, взятые из информационной модели, плюс эти дополнительные сведения служат фундаментом для формирования концептуальной модели, обуславливающей деятельность оператора в системе управления. Таким образом, информационная модель определяет лишь часть содержания концептуальной модели. Но так как эта часть является главной, принято считать, что информационная модель служит основой для формирования концептуальной модели.

Однако неправильно понимать концептуальную модель только как производную от информационной модели. Если бы концептуальная модель не содержала существенно отличающейся информации об объекте от данных о текущих состояниях объекта, которые поступают к оператору через информационную модель, она не могла бы служить основой для осмысливания последних и для выработки оценочного к ним отношения. Благодаря концептуальной модели оператор способен критически относиться к показаниям контрольных приборов и обнаруживать ложные показания отдельных приборов в случае их отказов. И так, если информационная модель определяет материальную форму, в которой выражена информация, то концептуальная – представление, возникающее в голове оператора под воздействием этой информации.

Концептуальная модель может корректироваться и в связи с изменением работы системы информационной модели или с получением дополнительных данных непосредственно от управляемого объекта. Таким образом, информационная модель является как бы полем, на котором оператор, проигрывая различные управляющие воздействия, выбирает оптимальные, поэтому эта модель становится для оператора не только средством отображения состояния системы, но и объектом его целенаправленной деятельности.

Динамика формирования концептуальной модели представляет большой



интерес для летной эксплуатации. На ее основе можно выбрать, расположить и предъявить информацию так, чтобы сформировать информационную модель, которая максимально облегчала бы составление концептуальной модели адекватной ситуации, сложившейся в работе системы.

Зададимся вопросом о величине, характеризующей разницу между текущим представлением пилота (оператора), возникающим в его сознании под воздействием информационной модели при заходе на ПСПВ и оптимальной ситуацией при выполнении успешного захода. Рассмотрим динамику формирования концептуальной модели. В какие условия необходимо поставить летчика в момент формирования у него концептуальной модели (на первоначальном этапе захода на площадку с самостоятельным подбором её с воздуха), и за какие сроки можно сформировать у него устойчивую концептуальную модель для захода на ПСПВ при имеющемся и строго фиксированном расположении приборной информации в кабине вертолета? Для начала обратимся к уже известным результатам и выводам научных исследований в области когнитивной науки и инженерной психологии.

Теория уровней построения движений Н. А. Бернштейна [5] была дополнена введением двух новых уровней «высших символических координаций» [6]. Модель уровняго GrandDesign интеллекта представлена в таблице.

Если предположить, что на первоначальном этапе обучения заходу на посадку оператор владеет каким-то базовым уровнем регуляции поведения, то нам остается выяснить, какова взаимос-

вязь между когнитивными модальностями при обучении заходу на ПСПВ и как повлияет результат этого обучения на формирование конкретных когнитивных организаций.

Простейшие из многоуровневых образований познавательных функций организма человека с точки зрения анализа когнитивной науки традиционно называют «ощущениями» и связывают их с тремя уровнями (A, B и C), причем соответствующая уровню A протопатическая чувствительность столь примитивна, что даже сам термин «ощущение» кажется в этом случае неоправданно интеллектуальным. Разнообразные феномены восприятия в основном реализуются посредством уровня пространственного поля (C) и действий (D). Они стали широко известны последние 30 лет под совсем другими именами, но главное в представлениях об их функциях сохранилось – разделение динамической локализации (вопрос «где?» с модификацией «как?») и идентификации объектов (вопрос «что?»).

Память в виде ее различных подсистем требует участия, по меньшей мере, трех уровней (D, E и F), тогда как мышление и воображение, – главным образом, двух (E и F), хотя и с возможными фоновыми координациями из нижележащих механизмов. По мнению Н. А. Бернштейна, нами осознается содержание работы ведущего для решения задачи данного уровня [5]. Иными словами, сознание ориентирует деятельность по отношению к содержанию решаемой задачи, обеспечивая тем самым функциональную интеграцию мозговых механизмов. Кроме того, степень отчетливости сознания увеличива-

Уровни когнитивной организации и регуляции поведения

| Код | Название | Основная функция | Примеры феноменов | Форма сознания |
|-----|-----------------------------|---|--|---|
| F | Метакогнитивные координации | Релятивизация и концептуальная перестройка модели мира | Индивидуальная теория психики, коммуникативная прагматика, творческое воображение, ментальные пространства | Личностный смысл, рефлексия и самосознание |
| E | Концептуальные структуры | Фиксация и дополнение концептуальной модели мира, речевая коммуникация | Эффекты семантической близости и контраста, категоризация и вербализация, схемы событий, карты-обозрения и «когнитивные коллажи» | Значение и обыденное сознание, образы — представления |
| D | Предметное восприятие | Действия и имитация движений с учетом специфики предметов | Движения и восприятие, отражающие индивидуальность предметов, восприятие сходства, фокальное внимание, карты-пути | Перцептивный образ, восприятие формы и других аспектов предметов |
| C | Пространственное поле | Движение с учетом метрики внешнего пространства | Локализация объектов в непосредственном окружении, амбиентное внимание, простые когнитивные карты | Пространственные ощущения, восприятие своего движения в окружении |
| B | Синергии | Контроль уровня А и координация работы мышечных групп тела | Двигательные ритмико-циклические штампы, двигательные автоматизмы, «схема тела» | Проприо- и тангорецепторные ощущения |
| A | Палеокинетические регуляции | Регуляция тонуса и простейшие защитные, ориентировочные и вестибулярные реакции | Тонические, палеовестибулярные и оптомоторные рефлексы | Протопатическая чувствительность |

ется при движении от низших к высшим уровням. Следует добавить, что при таком движении радикально меняется и качество феноменов сознания, как показано в последнем столбце *таблицы*.

Особую область прикладных исследований образует изучение формирования навыков. О навыках принято говорить в том случае, когда процессы выполнения некоторого действия со временем приближаются или достигают стадии автоматизации. Обычно навык трактуется как некоторое приобретенное действие, которое в явном виде включает сенсомоторные звенья (навыки письма или вождения автомобиля), хотя иногда присутствие двигательных компонентов может быть и не столь очевидным (навыки чтения, счета или общения). Многочисленные теории единодушно описывают процесс формирования навыков в терминах стадий или фаз автоматизации. Так, инженерные психологи П. Фиттс и М. Познер в 1960-е годы выделили когнитивную, ассоциативную и автономную фазы формирования [5]. В первой фазе имеет место вербальное кодирование необходимых действий, во второй они фиксируются в долговременной памяти и могут ассоциативно извлекаться оттуда в нужной последовательности

при одновременно сохраняющемся сознательном контроле. Наконец, в последней происходит полная автоматизация, и соответствующие операции выполняются автономно. По Н. А. Бернштейну, это будет звучать следующим образом: новое действие сначала выполняется на некотором ведущем уровне и целиком осознается; затем оно расщепляется на ряд операций, которые постепенно автоматизируются, находя для себя более низкие фоновые уровни [4]. Факт состоит в том, что по мере формирования и автоматизации навыков выполнения некоторого действия увеличивается возможность перехода к решению других задач – иными словами, происходит «освобождение ресурсов внимания».

Рассмотрим в качестве примера важный компонент управления вертолетом при заходе на посадку ПСПВ. Для начала кто-то должен подробно объяснить, как это делается. Это можно сравнить с пятилетней теоретико-практической подготовкой в училище, после которой говорят, что выпускник «все» знает, но ничего не умеет. На совместной фазе обучения решающее значение имеют механизмы, названные нами метакогнитивными координациями (уровень F) и концептуальными структурами (уровень

E). Затем переключение педалей и рукоятки скорости на длительное время становится предметным действием, протекающим под длительным контролем (уровень D) с участием зрения. Что вполне сравнимо с очередной вывозной программой после трех- или четырехлетней практики в должности второго пилота. Постепенно действия по пилотированию превращаются в типичную синергию, т. е. происходит фиксация движений в долговременной памяти и действия могут ассоциативно извлекаться оттуда в нужной последовательности, поскольку известно, что соответствующие процессы (уровень B) не требуют сознательного мониторинга [6].

Другие исследования показывают, что если на начальных ступенях формирование навыка движения протекает под контролем зрения, то впоследствии этот контроль все более переходит к чувствительным приборам двигательного аппарата – к кинестетическим и тактильным ощущениям. Как отмечает В. А. Бушурова, в ходе формирования навыка кинестезия как бы вбирает в себя опыт других сенсорных модальностей [7]. При этом образуется внутренний контур регулирования, определяемый действием кинестетического и тактильного аппаратов, в котором сиг-

налы проходят значительно быстрее (за 0,04 с), чем по внешнему, включающему зрительный контроль (0,1–0,2 с) [8].

Поскольку чрезвычайно сложен вопрос о месте сознания в модели уровня когнитивной организации, мы не можем влиять на регулирование сознания оператора и не знаем, какие из его модальностей будут являться приоритетными и уж тем более, как он будет воссоздавать в голове образ полета и предвидеть дальнейший ход событий. Однако представляется, при определенных условиях можно добиться надежного выполнения безопасных посадок, иначе говоря, невозможно закрепить навык без формирования концептуальной модели, как было показано выше. Если обратиться к фазам формирования навыков, то только в ассоциативной на уровне предметных действий D (см. таблицу) возможно четкое формирование действий и доведение его до автоматизма, поскольку эта фаза включает и когнитивную, и двигательную составляющую. Напротив, когнитивная фаза не включает двигательных действий, а в автономной фазе ее (концептуальную модель) уже поздно формировать.

Итак, чтобы освоить заход и посадку на площадку с самостоятельным подбором, пилоту необходимо усвоить связь между нахождением вертолета в текущей точке глиссады и параметрами, соответствующими этому положению. Мы выдвинем гипотезу, что эта связь выражена в парных ассоциациях (ПА) «стимул – реакция».

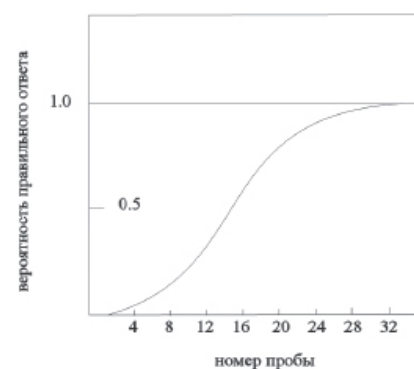
Кратко рассмотрим план эксперимента по выработке ассоциаций при упрощенных, хорошо контролируемых условиях. Испытуемому оператору предлагают по одной паре из списка пар стимул – реакция (или $S-R$ -пар). В нашем случае это будет выглядеть примерно следующим образом. На глиссаде от точки начала снижения до точки зависания в каждом заходе испытуемому предъявляются стимулы в виде параметров, характеризующих движение воздушного судна по этой глиссаде. Параметры выбираются таким образом, чтобы на один из них можно было воздействовать общим шагом, а на другой – циклическим (ручкой управления). Например, «удаление», диктуемое вторым пилотом, и «скорость», считываемая с прибора УС-450, или «высота», считываемая с высотомера, и «тангаж», считываемый летчиком с авиагоризонта, и т.

п. Считывая на каждом заходе стимул, выраженный парой параметров, испытуемый должен проявить соответствующую реакцию, которая через движение органами управления выражается в том, пойдет ли дальше вертолет в секторе глиссады или выйдет за его пределы. Положение вертолета в секторе глиссады будет означать правильную реакцию испытуемого оператора, выход же за нижний или верхний предел глиссады – неправильную. Задача испытуемого научиться при предъявлении на заходе двух параметров (при условии, что все остальные приборы будут закрыты) предсказывать, как его действия будут влиять на зависание при вводе в глиссаду и нахождении на ней.

Элементы списка параметров будут предъявляться визуально или на слух, по паре параметров на одну посадку. После того как испытуемый оператор приступил к снижению, экспериментатор (летчик-инструктор), наблюдая за ним, сообщает, правильно ли он идет по глиссаде. Если испытуемый выходит за пределы безопасного сектора [2], то инструктор информирует его о неправильном положении, а при необходимости вмешивается в управление. Каждое сообщение оператору правильного или неправильного положения на глиссаде мы будем называть подкреплением. На следующем заходе на посадку предъявляется вторая пара параметров из списка пар и т. д. Эта процедура повторяется до тех пор, пока все пары не будут показаны по одному разу. Каждый такой цикл (процедуру) будем называть пробой. Чтобы исключить возможность запоминания показаний приборов, пары в каждой пробе предъявляются в случайном порядке. Пробы выполняются до тех пор, пока испытуемый не выполнит безошибочно подряд две пробы.

Процесс обучения ПА рассматривается как процесс постепенного усиления ассоциативной связи (АС) между стимулом и ответами, причем основное внимание обращается на «конкуренцию» (или интерференцию) как на главную причину трудности обучения.

Считается, что сила АС между стимулом и подкрепляемым ответом (сила навыка SHR) по мере увеличения числа подкреплений монотонно возрастает от некоторого нуля до максимума, причем это увеличение происходит с убывающей скоростью. Если через H_n обозначить величину ассоциативной связи между S и R в n -й пробе, то закон изме-



Теоретическая кривая вероятности правильного ответа (имеет точку перегиба в отличие от H_n)

нения этой величины задается формулой [9]:

$$H_n = M - (M - H_1)b^{n-1},$$

где M – максимальная сила ассоциативной связи;
 b – скорость её нарастания;
 H_1 – первоначальное значение силы связи.

Примем в качестве аксиом, во-первых, что величина АС обратно пропорциональна времени задержки ответа, во-вторых, чем сильнее эта связь, тем эффективнее основной ответ может состязаться с конкурирующими. Следовательно, чем сильнее существующая АС S_1-R_1 , тем большая тренировка потребуется для выработки новой связи S_1-R_2 и для доведения её до уровня, соответствующего выработанному критерию (так называемое явление отрицательного переноса).

Рассмотренная теория содержит пять сводных параметров:

- 1) начальное значение АС;
- 2) изменение скорости нарастания АС от пробы к пробе;
- 3) величина порога;
- 4) максимальное значение АС;
- 5) дисперсия распределения величины осциллирующего торможения.

Если начальное значение АС велико, то кривая вероятности правильных действий будет вначале обращена выпуклостью кверху, а не к низу, как показано на рисунке.

Если размах распределения больше, чем разность между максимальным значением АС и порогом, то вероятность правильных действий будет стремиться к значению меньше единицы. Если скорость обучения велика по сравнению с размахом распределения, то результирующая кривая распределения будет приближаться к ступенчатой функции, меняющейся на протяжении одной пробы от нуля до единицы.

Теория описывает процесс образования связи $S-R$, где второй член пары – реакция – рассматривается как один функциональный элемент. Типично, что ошибочные действия испытуемого могут представлять собой по большей части неполные или искаженные варианты правильных действий. Чтобы правильно пройти по глассе испытуемый должен вспомнить изменения параметров, относительное расположение источников информации в пространстве, а также преодолеть замешательство, вызванное «конкуренцией» со стороны источников, относящимся к другим стимулам из данного списка. Из всех факторов, управляющих процессом обучения, наиболее важным является осмысленность и (или) удобовосприимчивость последовательностей параметров, образующих правильную реакцию и, как следствие, нужное воздействие на рычаги управления.

В работе Э. Гибсона (приводится по [7]) вербальное обучение рассматривается как процесс, требующий формирования и дифференциации многочисленных связей между стимулами и реакциями наряду с затормаживанием ответов, проявляющихся в результате генерализации стимулов. Признаком генерализации стимулов служит появление реакций, относящихся не к тем стимулам, которые предъявляются в данный момент. Так как реакция R_2 на стимул S_1 не подкрепляется, это благоприятствует затормаживанию связи S_1-R_2 , возникшей в результате генерализации. Аналогично, так как появление реакции R_1 в присутствии стимула S_2 благоприятствует торможению, торможение будет распространяться со связи S_2-R_1 на связь S_1-R_1 . Чтобы получить общую картину процесса обучения при наличии многих $S-R$ пар нужно для каждой пары (в частности для пары S_1-R_1) принять во внимание:

- 1) тенденцию стимула S_1 вызывать неправильные реакции R_2, R_3, \dots благодаря явлению генерализации;
- 2) торможение, мешающее появлению действий R_2, R_3 в присутствии стимула S_1 ;
- 3) суммарное генерализованное торможение (исходящее от S_1) реакции R_1 в присутствии стимулов S_2, S_3 .

Кроме того, изменяется правило выдачи действий испытуемым, так как при появлении стимула S_1 одновременно действует «эффектная» связь

S_1-R_1 , т. е. S_1HR_1 минус суммарная величина генерализованного торможения и возникшие в результате генерализации аналогичные «эффективные» связи, способствующие появлению ответов R_2, R_3, \dots . Кроме того, все эти связи меняются независимо друг от друга. Предполагается, что при предъявлении стимула S_1 будут произведены такие действия, которые в данный момент имеют наибольшее значение эффективной АС с S_1 (при условии, что это значение выше порогового). Так как и эксперименты, и модель выражают лишь стадию выработки ассоциаций, под «обучением» мы будем понимать процесс образования ассоциации стимул – действие.

Имеется еще одно дополнительное соображение. При сопоставлении модели с данными эксперимента удобно ввести в модель дополнительное предположение о том, что все пары $S-R$ представляют одинаковую трудность для обучения. Это предположение обеспечивается тем, что для каждого стимула определен свой закон изменения движения органами управления. При этом все стимулы описывают изменение положения вертолета на глассе снижения. Конструируя произвольным образом пары $S-R$, мы увеличиваем вероятность того, что ни одна из ассоциаций не выработалась до начала эксперимента.

Ответы в модели рассматриваются как правильные или неправильные, т. е. вертолет или идет по глассе (летчик предвидит свои действия), или выходит за безопасный сектор. Информация о том, какое именно действие имело место в момент, когда была зафиксирована ошибка, не принимается во внимание. Правильный ответ кодируется нулем, неправильный – единицей. Закодированную таким образом последовательность ответов, полученную от данного испытуемого оператора в результате многократного предъявления данного стимула на протяжении серии проб, мы будем называть ИС-последовательностью (ИСП) (испытуемый – стимул).

С помощью модели попытаемся предсказать статистические свойства ИСП. В дальнейшем исследуем, насколько хорошо согласуется модель с наблюдаемым в эксперименте распределением числа ошибок, приходящихся на одну ИСП, со средним значением номера пробы, соответствующей по-

следней ошибке, и т. д. Таким образом, мы сможем рассчитать момент прекращения действия ассоциативной фазы при формировании навыка. Другими словами, найти временной переход от поля действий (уровень D) к пространственному полю (уровень C) (см. таблицу), которое подразумевает освобождение ресурсов внимания оператора и возможность критически относиться к ситуации, принимать решение и действовать исходя из большего объема информации. ■

Литература

1. Коваленко Г. В., Муравьев И. С., Васильковский А. И. О необходимости исследования методики принятия решения при полете на площадку ограниченных размеров вне аэродрома с самостоятельным подбором с воздуха // Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов: межвуз. тематич. сб. науч. тр. Вып. VI / С.-Петербург. гос. ун-т гражданской авиации. СПб., 2012. С. 26–31.
2. Коваленко Г. В., Муравьев И. С., Васильковский А. И. Предложения по формированию образа захода на посадку в процессе подготовки летного состава к полетам на площадку ограниченных размеров вне аэродрома // Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов: межвуз. тематич. сб. науч. тр. Вып. VI / С.-Петербург. гос. ун-т гражданской авиации. СПб., 2012. С. 89–95.
3. Котик М. А. Краткий курс инженерной психологии. Таллин: Валгус, 1971. 307 с.
4. Чайнова Л. Д. Об эффекте «предвидения» в условиях непрерывного слежения за стимулом // Проблемы инженерной психологии. Вып. 3. М., 1968.
5. Бернштейн Н. А. О построении движения. М.: Медгиз, 1947; Наука, 1991.
6. Величковский Б. М. Когнитивная наука. Основы психологии познания: в 2 т. Т. 1. М.: Смысл; Академия, 2006. 448 с.
7. Бушурова В. А. О взаимодействии анализаторов в формировании так называемого «чувства времени» // Материалы Ленинград. зональной психологич. конф. Л.: Изд-во Общества психологов, 1958.
8. Душков Б. А., Ломов Б. Ф., Рубахин В. Ф. и др. Основы инженерной психологии: учеб. для техн. вузов / под ред. Б. Ф. Ломова. 2-е изд., доп. и перераб. М.: Высш. шк., 1986. 448 с.
9. Аткинсон Р., Бауэр Г., Кротерс Э. Введение в математическую теорию обучения. М.: Мир, 1969. 485 с.