

ФАКТОРНАЯ СТРУКТУРА ТЕРМИНАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ В ТЕХНИКЕ ПИЛОТИРОВАНИЯ КУРСАНТА НА ВЫПУСКНОМ ТИПЕ ВОЗДУШНОГО СУДНА

д. т. н., проф. А.А. Терёшкин,

Украинский государственный учебно-сертификационный центр гражданской авиации

Техника пилотирования курсанта – пилота в полете на выпускном типе воздушного судна рассматривается как сложный объект, представляющий собой совокупность приобретенных навыков, знаний и умений для демонстрации возможности выполнить самостоятельный полет на многодвигательном самолете в составе многочленного экипажа. В соответствии с установленными международными стандартами [1], кандидат на получение свидетельства пилота должен продемонстрировать способность качественно выполнять процедуры и маневры, а также умения:

- управлять самолетом в пределах его эксплуатационных ограничений;
- плавно и точно выполнять все маневры;
- принимать правильные решения и квалифицированно осуществлять контроль и наблюдение в полете;
- применять знания в области аэронавигации;
- постоянно осуществлять управление самолетом таким образом, чтобы никогда не возникало сомнений в успехе выполнения схемы полета или маневра;
- поддерживать действенное общение с другими членами летного экипажа.

Рабочая гипотеза авторов состояла в том, что выполнение процедур факторного анализа над зарегистрированной в полете информацией позволит получить новые структурные представления о психофизиологическом содержании деятельности курсанта – пилота. Процесс пилотирования курсантом самолета с двумя турбовинтовыми двигателями по малому кругу длительностью 6 мин в составе экипажа описывается вектором терминальных критериев-переменных, включающим 25 компонентов:

$P_{ИКМ1}, P_{ИКМ2}$ - давление на индикаторах крутящего момента (ИКМ) левого и правого двигателей в процессе разбега самолета;

$n_{у\min}, n_{у\max}$ - перегрузка вертикальная минимальная и максимальная на взлете;

$\gamma_{\min}, \gamma_{\max}$ - угол крена минимальный и максимальный на развороте;

$V_{уб.з}$ - скорость полета при уборке закрылков;

$V_{\min ГП}, V_{\max ГП}$ - минимальная и максимальная скорости горизонтального полета самолета;

$V_{\text{вып. ш}}, V_{\text{вып.з}}, V_{\text{дов.з}}$ - скорость полета при выпуске шасси, закрылков и при довыпуске закрылков соответственно;

$V_{\min ГЛ}, V_{\max ГЛ}$ - минимальная и максимальная скорость полета на глиссаде снижения;

$V_{\text{приз}}, n_{у\text{приз}}$ - скорость полета и вертикальная перегрузка при приземлении самолета;

$\delta_{РВ\max}$ - максимальное отклонение руля высоты в процессе выравнивания самолета;

$РУД1, РУД2$ - положение рычагов управления левым и правым двигателями при приземлении самолета;

$V_{в.уп}$ - скорость на пробеге самолета по ВПП при снятии винтов с упора;

$n_{у\min}^*, n_{у\max}^*$ - перегрузка вертикальная минимальная и максимальная при пробеге самолета;

$G_{\text{взл.}}, G_{\text{пос.}}$ - взлетная и посадочная массы самолета;

$V_{п.ст}$ - скорость самолета на разбеге при подъеме передней стойки шасси.

Значения терминальных критериев - переменных в условиях реальных полетов 31 курсанта были получены по данным экспресс-анализа полетной информации бортового самолетного регистратора. Методом главных компонент были выделены восемь ортогональных факторов, суммарный вклад которых в описание дисперсии исходных

переменных составил 83,8%. Матрица факторных нагрузок исходных переменных после варимаксного вращения координат представлена в таблице 1.

Таблица 1

Матрица факторных нагрузок исходных переменных после варимаксного вращения

Пере- менные	ФАКТОРЫ							
	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
$R_{ИКМ1}$	-0,206	0,227	-0,187	-0,134	0,085	0,811	-0,036	-0,282
$R_{ИКМ2}$	0,153	-0,279	0,201	-0,144	0,398	0,650	-0,267	0,205
$n_{у\min}$	0,097	0,004	0,222	0,024	0,816	0,005	0,052	0,050
$n_{у\max}$	-0,141	-0,385	-0,022	0,128	0,417	0,261	-0,549	0,299
γ_{\min}	0,826	0,171	0,255	-0,192	0,033	0,064	0,244	0,095
γ_{\max}	0,776	0,108	0,202	0,382	0,012	-0,059	0,037	0,062
$V_{уб.з}$	0,314	-0,079	0,330	0,171	0,038	0,115	0,740	-0,079
$V_{\min ГП}$	0,229	-0,268	0,181	0,774	-0,054	0,070	0,032	-0,105
$V_{\max ГП}$	0,031	-0,039	0,064	0,802	-0,108	-0,035	-0,093	-0,283
$V_{вып. ш}$	0,721	0,169	0,051	0,260	0,085	-0,131	0,262	-0,321
$V_{вып. з}$	0,132	0,188	-0,287	0,697	0,162	-0,167	0,137	0,370
$V_{дов.з}$	-0,138	-0,005	0,283	0,164	0,457	-0,199	0,417	0,481
$V_{\min ГЛ}$	0,841	0,030	0,281	0,123	0,244	-0,161	0,176	0,023
$V_{\max ГЛ}$	0,651	-0,341	-0,070	-0,094	0,115	0,053	-0,014	0,473
$V_{приз}$	0,423	0,072	0,626	0,169	-0,233	-0,057	-0,023	0,038
$n_{у приз}$	0,150	-0,206	-0,183	-0,120	0,746	0,134	-0,077	0,018
$\delta_{РВ \max}$	-0,001	0,749	0,074	-0,029	-0,256	-0,321	0,296	0,157
РУД1	-0,249	-0,205	-0,879	-0,021	-0,148	0,011	-0,182	0,084
РУД2	-0,138	-0,285	-0,866	0,051	-0,171	0,174	-0,058	-0,107
$V_{в.уп}$	0,260	0,320	-0,065	-0,121	0,010	-0,165	0,756	0,086
$n_{у \min}^*$	0,054	-0,658	-0,320	0,139	-0,030	0,536	-0,013	0,279
$n_{у \max}^*$	0,284	0,085	0,249	-0,412	0,448	-0,570	-0,028	0,077
$G_{взл}$	0,106	0,945	0,175	-0,027	-0,056	0,122	0,054	0,014
$G_{пос}$	0,124	0,950	0,151	-0,057	-0,029	0,117	0,059	0,081
$V_{п.ст}$	-0,075	-0,146	-0,022	0,216	-0,054	0,068	0,072	-0,901
D, %	25,02	16,09	11,74	7,84	6,97	6,31	5,38	4,42

Важный результат исследования техники пилотирования курсанта состоит в синтезе корреляционно-факторной модели (КФМ), формализованной по определенным правилам [2]. Элементами структуры КФМ являются переменные – терминальные критерии, входящие в матрицу факторных нагрузок, а в качестве связей используются коэффициенты матрицы парных корреляций терминальных критериев.

Процедуры формализации структуры состоят в следующем:

- 1) для рассчитанных матриц факторных нагрузок и парных корреляций назначают пороговые значения a^* и r^* соответственно; из обеих матриц исключают элементы с абсолютными значениями меньше пороговых;
- 2) ядро структуры модели представляют наименованиями переменных - критериев, заключенных внутри окружностей, в которые включают значения их факторных нагрузок;
- 3) между переменными ядра структуры указывают связи, соответствующие значениям парных корреляций.

Выберем оптимальную сложность КФМ. С точки зрения исследователя сложность ее структуры будет определяться количеством элементов n_a , включаемых в модель, и количеством связей n_r между ними. Тогда совокупность параметров $\langle n_a, n_r \rangle$ определит сложность структуры модели. С другой стороны, параметры структуры являются функциями значений порогов $\langle a^*, r^* \rangle$, которые субъективно устанавливает исследователь.

Применительно к исследуемой структуре были рассчитаны зависимости, приведенные на рис. 1. Из рис. 1 следует, что обе зависимости нелинейные и оптимальная сложность структуры соответствует принятым интервалам значений порогов. Очевидно, что значениям, меньшим порога, соответствуют более сложные структуры, которые статистически менее достоверны и более трудны для интерпретации. Значениям, большим порога, соответствуют более простые структуры (с меньшим числом элементов и связей между ними), однако при этом содержание модели может оказаться упрощенным. Для последующего исследования приняты значения порогов $\langle a^*, r^* \rangle$, находящиеся в рекомендованной области. Центром этой области является точка перегиба функции количества факторных нагрузок N_a от значения порога a^* , равного 0,565. Рис. 2 отображает КФМ техники пилотирования курсанта. Выполним анализ содержания ее структуры.

В факторе F_1 сосредоточены наибольшие нагрузки переменных: минимальные γ_{\min} и максимальные γ_{\max} углы крена самолета на развороте, минимальные $V_{\min AE}$ и максимальные $V_{\max AE}$ приборные скорости на режиме снижения самолета по глиссаде, приборная скорость $V_{\text{вып.ш}}$, при которой пилот выпускает шасси при заходе на посадку. Исходя из содержания переменных, фактор F_1 интерпретирован как *«умение курсанта выполнять задачу компенсаторного слежения и стабилизации важнейших параметров на различных этапах полета»*.

Фактор F_2 включает наибольшие нагрузки переменных: максимальное отклонение руля высоты в процессе выравнивания и приземления самолета $\delta_{PB\max}$, минимальное значение вертикальной перегрузки $n_{y\min}^*$, взлетной $G_{\text{взл}}$ и посадочной $G_{\text{пос}}$ массы самолета. Принимая во внимание содержание переменных и корреляционных связи между ними, фактор F_2 определим, как *«умение курсанта выполнять маневр выравнивания самолета»*. Высокий коэффициент корреляции между $G_{\text{взл}}$ и $G_{\text{пос}}$ отражает факт незначительного изменения массы самолета за счет выработки топлива вследствие малой продолжительности типового профиля полета по кругу. Связи между переменными фактора характеризуют умение курсанта выполнить координированное управление рулем высоты в программном маневре выравнивания самолета так, чтобы перегрузка с учетом полетной массы самолета была минимальной. Знаки корреляций подтверждают это явление на качественном уровне (отклонение руля высоты вверх имеет отрицательный знак). Вертикальная перегрузка $n_{y\min}^*$ является также критерием оценки качества приземления самолета: ее повышенные значения соотносят с тенденцией самолета отделяться от ВПП после первого касания.

В составе фактора F_3 наибольшие нагрузки имеют переменные: скорость приземления самолета $V_{\text{приз}}$ и положения рычагов управления двигателями РУД1, РУД2. Их синхронное положение в момент приземления подтверждено высокой корреляцией переменных. Знаки факторных нагрузок РУД противоположны знаку факторной нагрузки $V_{\text{приз}}$. Это свидетельствует об умении курсанта управлять режимом работы двигателей так, чтобы обеспечить безопасность процесса приземления. Поэтому фактор F_3 интерпретирован как *«умение курсанта безопасно управлять скоростью полета посредством тяги двигателей при приземлении самолета»*.

Наибольшие факторные нагрузки в факторе F_4 имеют переменные: минимальная $V_{\min GP}$ и максимальная $V_{\max GP}$ скорости на горизонтальных участках траектории полета самолета, а также скорость $V_{\text{вып з}}$, при которой пилот выпускает закрылки. Интерпретация данного фактора аналогична фактору F_1 .

В составе фактора F_5 наибольшие значения нагрузок имеют переменные: вертикальные перегрузки - минимальная $n_{y\min}$ в процессе разбега самолета по ВПП и перегрузка $n_{y\text{приз}}$ при приземлении самолета. Вертикальная перегрузка является нормированной переменной в требованиях к технике пилотирования, значения которой формируют квалификационную оценку пилота. Поэтому фактор F_5 интерпретирован как *«умение курсанта обеспечить безопасное управление самолетом на режимах взлета и приземления самолета»*.

Фактор F_6 содержит наибольшие факторные нагрузки переменных $R_{\text{ИКМ1}}$, $R_{\text{ИКМ2}}$ –

индикаторов крутящих моментов винтов левого и правого двигателей на разбеге. Средние значения и медианы их распределений (рис. 3) статистически не различаются. Однако сравнение распределений в целом по критерию Колмогорова-Смирнова обнаруживает их различие со значимостью менее 0,05 при доверительной вероятности 95,0% (рис. 4).

Факторная нагрузка переменной $R_{ИКМ1}$ оказывается существенно больше факторной нагрузки переменной $R_{ИКМ2}$. Это явление нуждается в комментариях, относящихся скорее не к технике пилотирования курсанта, а к двигателям самолета, как объектам технического обслуживания. Введя новую переменную $Dif\ ИКМ = ИКМ2 - ИКМ1$ и построив уравнение ее регрессии на переменную $ИКМ1$, обнаруживаем наличие особенности в регулировке правого двигателя, установленной при его обслуживании. Исследование показывает, что на множестве реализаций перевода обоих РУД на взлетный режим наблюдается дрейф значений $ИКМ2$ в диапазоне 86-92 ед. относительно $ИКМ1$, размах которого выходит за нормативные пределы и составляет 6,5 ед. (рис. 5). Именно это и проявляется в корреляциях между переменными $ИКМ2$ и $\delta_{P_{Вmax}}$, а, следовательно, и $n_{умax}$. Если, например, вариация $ИКМ2$ отрицательна относительно $ИКМ1$ и, следовательно, при этом суммарная мощность двигателей уменьшается, то выполнение маневра выравнивания самолета потребует от пилота большего расхода руля высоты. Таким образом, фактор F_6 , с учетом его корреляционных связей между факторами F_2 и F_7 , можно интерпретировать, как *«умение курсанта устанавливать двигателям взлетный режим и выполнять маневры при наличии отклонений технических параметров силовой установки от заданных значений»*. В более широком смысле фактор характеризует способность курсанта адаптировать навыки и умения пилотировать самолет при изменяющихся параметрах функциональных систем и тем самым обеспечивать текущую безопасность полета.

Среди факторных нагрузок F_7 доминируют нагрузки переменных: скорости полета $V_{уб.з}$, при которой начата уборка закрылков пилотом на режиме взлета, и скорости $V_{в.уп}$, по достижении которой пилот производит снятие воздушных винтов двигателей с упора для получения отрицательной тяги с целью торможения самолета при пробеге. Оба режима полета характеризуются быстрым протеканием процессов и, с позиций инженерной психологии, требуют от пилота действий, соответствующих типу «реакции на движущийся объект», при которых уровень его рабочей нагрузки оказывается достаточно высоким. Формально таким движущимся объектом в системе отображения информации для пилота является указатель приборной скорости самолета.

Наличие положительной корреляции между переменными $V_{уб.з}$ и $V_{в.уп}$ отражает тот факт, что курсант, оказывающийся в дефиците времени и опаздывающий с операцией уборки закрылков на взлете, как правило, опаздывает и с операцией снятия воздушных винтов с упора при пробеге самолета на ВПП. Таким образом, фактор F_7 интерпретирован как *«умение курсанта управлять конфигурацией самолета и его силовой установкой в условиях дефицита времени»*.

В факторе F_8 наибольшая нагрузка принадлежит единственной переменной $V_{п.ст}$ – скорости, при которой пилот посредством отклонения штурвала начинает подъем передней опоры шасси самолета на разбеге. По сравнению с другими переменными, реакция пилота на $V_{п.ст}$ представляет собой в чистом виде «реакцию на движущийся объект» - возрастающую скорость разбега самолета. Этот специфический фактор интерпретирован как *«умение курсанта управлять подъемом передней опоры шасси на взлете»*.

Заключение

Обобщая результаты использования методологии и процедур факторного анализа к переменным техники пилотирования курсанта в терминальных критериях, можем заключить:

1. Разработана корреляционно-факторная модель техники пилотирования курсанта при самостоятельном полете.
2. Анализ не выявил наличия генерального фактора с нагрузками на все исходные переменные системы и, следовательно, техника пилотирования курсанта является

многомерным объектом измерения.

3. Факторная структура модели содержит восемь ортогональных факторов, объясняющих 83,8% суммарной дисперсии исходных переменных, и представляет собой вполне удовлетворительное описание поведения курсанта в системе «экипаж-самолет». Эти факторы можно включить в систему объективной оценки профессиональной подготовки пилота. КФМ является полезной моделью для описания причинно-следственных отношений между терминальными критериями и может использоваться в качестве методического средства для совершенствования подготовки курсантов на выпускном типе воздушного судна.

Литература

1. Выдача свидетельств авиационному персоналу. Международные стандарты и рекомендуемая практика. Приложение 1 к Конвенции о международной гражданской авиации. Международная организация гражданской авиации.

2. *Терёшкин А.А., Рыбак С.В.* Корреляционно-факторный метод анализа структуры операторской деятельности бортинженера// Обеспечение безопасности полетов. – Киев: КИИГА. – 1986. – с.97 – 107.