

А.В. Скрипец, А. Аль-Аммори, Е.П. Шкурко

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПОЛИФАКТОРНЫХ ПРОЦЕССОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФОРМАЦИОННО-
УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Приводятся методические рекомендации по повышению уровня противодействия пилотов факторным накладкам, которые позволяют инструкторам и пилотам правильно принимать решения как в нормальных условиях, так и в особых ситуациях, а также при переходе от эксплуатации самолетов старого поколения к эксплуатации самолетов нового поколения в гражданской авиации.

За последние 10–15 лет наблюдается неблагоприятная тенденция постоянного возрастания количества авиационных происшествий (АП), связанных с человеческим фактором (ЧФ). Их величина в различных странах колеблется от 70 % до 90 % от общего числа. Используемые сейчас многочисленные методы анализа и оценки профессиональной деятельности летного состава (ЛС), его подготовки не позволяют качественно изменить указанную тенденцию [1, 2]. Это связано с методологическими недостатками теоретико-практических концепций безопасности полетов и учета ЧФ. Следует отметить, что значительная часть АП по «вине» ЛС принадлежит не ЧФ, а той теоретической науке, которая обязана «подстраховать» практику.

Предлагаемые в статье методические рекомендации по повышению уровня противодействия пилотов факторным накладкам призваны восполнить теоретический и методологический пробелы и являются одним из первых способов, позволяющих инструктору и пилоту сначала теоретически, а потом и практически освоить процессы полета в условиях неожиданного воздействия всевозможных отрицательных факторов (факторных накладок). Анализ литературных источников показывает, что проблема учета влияния множества факторов (полифакторность) на профессиональную деятельность в настоящее время центральная при эксплуатации самолетов нового поколения.

В этих условиях на первое место выходят вопросы подготовки и тренировки пилотов в условиях, максимально приближенных к реальности и, как следствие, широкого использования тренажеров для подготовки к действиям в экстремальных условиях, т.е. при влиянии множества отрицательных факторов (возникновение полифакторности). Сначала предполагалось, что проблему подготовки пилотов к действиям в экстремальных условиях можно решить за счет выработки у них жестких автоматизированных навыков управления в каждом конкретном случае. Но вскоре выяснилось следующее:

— число экстремальных ситуаций, потенциально возможных (и возникающих) в процессе деятельности пилотов, настолько велико, что практически невозможно отработать навыки для всех ситуаций;

— навык может оказаться неполноценным вследствие его чрезмерной автоматизации, поскольку его жесткая, неизменная структура затрудняет переход и адаптацию к новой или нестандартной ситуации;

— неправильный выбор действий, затрудняется мыслительная деятельность.

Таким образом, одна только отработка автоматизированных действий принципиально не может обеспечить успех подготовки операторов к действиям в условиях влияния отрицательных факторов.

Некоторые исследователи в качестве выхода из подобной ситуации предлагают осуществлять подготовку пилотов на основе определения классов аварийных ситуаций, к которым пилот должен быть подготовлен. Классы аварийных ситуаций выделяются на основе подобия деятельности. Очевидно, этот подход является модификацией изложенного выше и обладает теми же недостатками, что делает его использование нецелесообразным. В настоящее время можно считать, что действие пилота в нестандартной ситуации невозможно довести до уровня автоматизированного навыка, и подготовка к действиям в экстремальных ситуациях должна обеспечить формирование психических механизмов регуляции действий в зависимости от условий деятельности, т.е. следует иметь в виду наличие и главенствующую роль волевого, сознательного компонента действия.

Однако формирование внутренних механизмов регуляции действия не обеспечено методически и методологически, а подходы к этой проблеме у разных исследователей существенно различаются. Например, в одних работах основой для построения таких механизмов считается формирование полноценного образа полета. В других ударение делается на выработку психической устойчивости к стрессу, предполагающую, с одной стороны, отработку действий при возможных осложнениях, с другой, — тренировку в скорости принятия решений.

Предлагается также система специальной психофизиологической подготовки ЛС, в специальную часть которой входит формирование психологической готовности, умений и навыков в усложненных и аварийных ситуациях на основе постоянного тренажа с использованием разных средств и методов. Методика сознательной отработки навыков связана с подавлением в обучаемых отрицательных проявлений безусловно-рефлекторных реакций, вызывающих опасность в полете, и должна обеспечивать контроль сознания над ними. В конечном итоге она направлена на уменьшение числа ошибок операторов и обеспечивает постоянное внимание ЛС.

Несмотря на различие в методах, изложенных выше, можно отметить, что общим для них является попытка преодолеть односторонность подхода к деятельности оператора. При анализе и учете ЧФ существующих исследований недостаточно и при их применении специалисты испытывают целый ряд теоретических и практических затруднений. С помощью факторной концепции в процессах предотвращения АП, используемой в Международной организации гражданской авиации (ИКАО) [1, 2], не удалось изменить и прекратить рост доли аварий по «вине» ЧФ. Сравнение цепи событий при АП ИКАО («факторной цепи ИКАО») с циклограммой последовательного действия группы факторов (событий) при АП (аддитивная модель факторов) приведены на рис. 1 и рис. 2.



Рис. 1. Анализ полифакторных процессов при АП

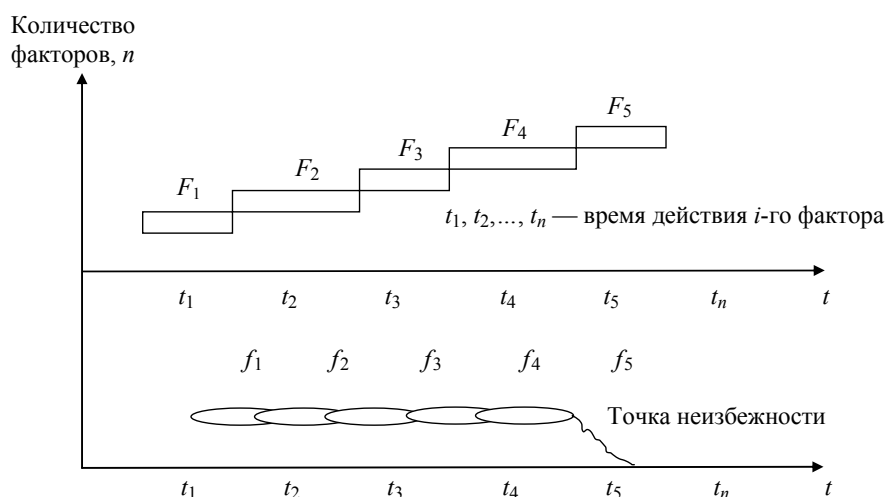


Рис. 2. Сравнительный анализ факторной цепи ИКАО с аддитивной моделью факторов

Основой данной процедуры является так называемая концепция «факторной цепи», изложенная в [1]. Суть концепции состоит в том, что АП практически не бывают следствием какой-либо отдельной причины, а происходят в результате одновременного действия нескольких. Эти причины и называют аварийными факторами, или просто факторами, под которыми понимают любое условие, явление или обстоятельство, наличие или отсутствие которых может привести к АП.

Согласно факторной процедуре ИКАО выделяют 114 факторов, которые создают множество действующих факторов при всех потенциально возможных происшествиях. В [1] подчеркивается, что для успешного предотвращения АП не следует останавливаться на ошибках ЛС, а необходимо «идти дальше в целях определения факторов, лежащих в основе действий человека».

В соответствии с процедурой факторной цепи на этом множестве факторов действует любая цепь «длиной» в 13 факторов (в последнее время фирма «Боинг» увеличила количество факторов до 20) на протяжении полета, которые приводят к так называемой «точке неизбежности» — пределу способности пилота противодействовать факторным нагрузкам. В результате анализа разрабатывают уведомления об аварийных факторах, рекомендации по обеспечению безопасности полетов, которые рассылают соответствующим организациям. Очевидно, позиция ИКАО недостаточно активна, поскольку направлена на сбор и анализ статистики (а не на предотвращение АП). Кроме того, в упомянутом выше руководстве прямо признается, что последующий прогресс авиационной техники будет сопряжен с появлением новых аварийных факторов, а следовательно, принципиально невозможно ликвидировать факторные нагрузки на пилотов в процессе полета.

Однако основным итогом неправильных методологических посылок является то, что в процессах предотвращения АП не учитывается возрастание количества факторов (табл. 1).

Таблица 1. Сравнительный анализ классификаций факторов, влияющих на безопасность полетов

№ п/п	Год	Количество групп факторов	Количество факторов	Количество факторов в группах
1	1970	3	12	4, 5, 3
2	1977	5	17	6, 4, 4, 2, 1
3	1980	6	18	3, 3, 2, 4, 4, 2
4	1982	3	23	6, 8, 9
5	1983	5	24	4, 4, 8, 6, 2
6	1985	18	68	4, 2, 3, 4, 5, 4, 5, 5, 6, 2, 6, 5, 4, 5, 4, 4
7	1986 ADRIP	—	1700	—
8	Система безопасности, 1997	—	Не менее 1500	—
9	1998	—	Не менее 1800	—

Эта закономерность составлена на основе анализа данных по литературным источникам за последние 20 лет. Таким образом, еще в 1985–1990 гг. стало понятно, что необходима методологическая доработка теории безопасности полетов, которая позволит сначала теоретически, а затем и практически уменьшить «вину» ЛС в АП.

Необходимо также учитывать, что процесс принятия решений в летной деятельности — это информационный процесс, который включает подготовительный этап принятия решения и само принятие решения. Анализ показывает, что при подготовке важнейших решений встречается два типа задач:

— задачи, в которых главным элементом при подготовке решений является выбор критерия;

— задачи, в которых при подготовке решений главным элементом является выбор теории.

На практике при анализе обобщенных критериев сталкиваемся с такими основными затруднениями:

— число факторов стремится к бесконечности;

— факторы взаимосвязаны и не варьируются.

В такой ситуации трудно собрать информацию для принятия решений по заранее заданному критерию, т.е. при подготовке решений возникают трудности, прежде всего чисто информационного характера. Преодолеть их можно с помощью решения задач учета множества факторов (полифакторности), взаимосвязанных между собой [3].

В связи с тем, что эти затруднения носят информационный характер, они могут быть описаны с использованием понятия «поток информации» или характеристического параметра потока информации (η).

Тогда если критерий имеет вид $E = \varphi(f_1, f_2, \dots, f_n)$, где f_1, f_2, \dots, f_n — действующие факторы, то затруднения, встречающиеся на практике, будут связаны со следующим:

— число факторов стремится к бесконечности или практически параметр $\eta \rightarrow \infty$;

— факторы взаимодействуют: $E = \varphi(f_1, \in f_2, \in f_3, \dots, \in f_n)$, $\eta \rightarrow \infty$;

— факторы не варьируются $f_1, f_2, \dots, f_n = \text{const}$.

Таким образом, затруднения связаны с тем, что поток информации становится или очень большим, или очень маленьким ($\eta \rightarrow \infty$, $\eta \rightarrow 0$), что приводит к невозможности сбора данных по критерию.

Условия ($\eta \rightarrow \infty$, $\eta \rightarrow 0$) являются информационными пределами применения принятой теории как системы преобразований: это касается и теории факторной цепи ИСАО.

Необходимо отметить, что в первом случае можно решать задачу учета ЧФ на всех этапах жизненного цикла (проектировании, изготовлении, эксплуатации); во втором случае — более частная задача по учету ЧФ на стадии испытаний, которую следует рассматривать как некоторый аспект проблемы учета ЧФ на всех этапах жизненного цикла эргатической системы.

При переходе от эксплуатации самолетов старого поколения к эксплуатации самолетов нового поколения (СНП) особенно важно при решении проблемы безопасности полетов и ЧФ рассматривать переходы в информационно-управляющих системах (ИУС) как переходы от аналоговой к цифровой технике (рис. 3).

ИУС самолетов — автоматизированные системы управления, обладающие широкими возможностями информационного обеспечения человека-оператора.

Бортовые информационно-управляющие системы (БИУС) самолетов — совокупность датчиков информации и систем управления, предназначенных для пилотирования и навигации самолетов.

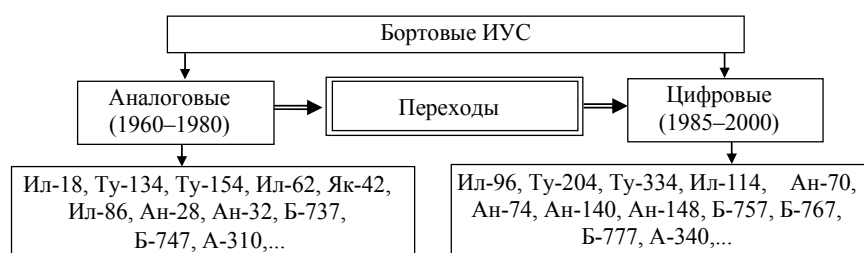


Рис. 3. Классификация бортовых ИУС

Особую сложность внесли новые ИУС, такие как комплексные информационные системы сигнализации (КИСС), комплексная индикационная система обстановки (КИСО), комплексные пилотажные индикаторы (КПИ), комплексные пульта радиотехнических средств (КП РТС) и комплексы стандартного пилотажно-навигационного оборудования (КС ПНО).

В связи с этим возникла проблема качественной доработки многоканальных систем регистрации параметров полета.

Осознание того, что СНП представляют собой предельно сложные производственные машины, пришло позднее по мере развертывания научных исследований на этих типах самолетов после возникновения ряда авиакатастроф.

Производственные процессы при эксплуатации СНП малоисследованы. За последнее тридцатилетие природа эксплуатации сложных машин качественно изменилась. Основные отрицательные процессы при эксплуатации СНП стали маловероятными из-за повышения технической надежности самолетов.

Применение новых принципов анализа, учет полифакторности и факторных переходов при эксплуатации СНП позволяют решить наиболее сложные теоретико-практические проблемы их эксплуатации.

Определение первых признаков маловероятных аварийных ситуаций является одной из таких проблем. Знание природы всех факторов позволяет предупреждать такие отрицательные явления, которые качественно изменяют процесс эксплуатации.

В отдельных работах ученые начали развивать новые подходы к методологии первоначальной эксплуатации СНП [4, 5]. В основе процессов предупреждения маловероятных аварий при эксплуатации СНП лежат не просто явления воздействия факторов, как считает большинство специалистов, а явление информационно-факторных переходов [4, 6].

Под факторным переходом (переходами) понимают такой количественно-качественный переход от одной стороны процесса к другой, когда взаимодействие факторов становится конечной причиной (*causa finales*) появления пределов развертывания одной стороны процесса (например, действия) и возникает необходимость перехода к другой стороне процесса (например, к противодействию).

На рис. 4 приведена классификация полифакторных переходов для СНП. По этой классификации выделяют три типа переходов по степени усложнения ситуации, по качеству режимов управления самолетом, а также по степени резервирования в структуре системы управления и структуре кабины.



Рис. 4. Классификация полифакторных переходов на первоначальном этапе эксплуатации СНП

Ошибки экипажа вызываются при переходах, прежде всего, тем, что в существующих программах обучения и тренировок, как правило, имеются разделы по изучению режимов как таковых, но не акцентируется внимание на полифакторные переходы между режимами (режимные переходы) и между контурами (контурные переходы), а природа новых переходов не изучается совсем [7, 6].

На рис. 5 приведены возможные источники ошибок экипажа и причины их появления при эксплуатации СНП, потенциально во всех видах эксплуатации есть возможность появления потока ошибок [7, 5]. В условиях нормальной эксплуатации это можно выяснить только на основе составления таблиц и диаграмм частот повторения операций с выделением групп операций (элементов системы или пультов системы) с минимальным и максимальным количеством частот повторения.

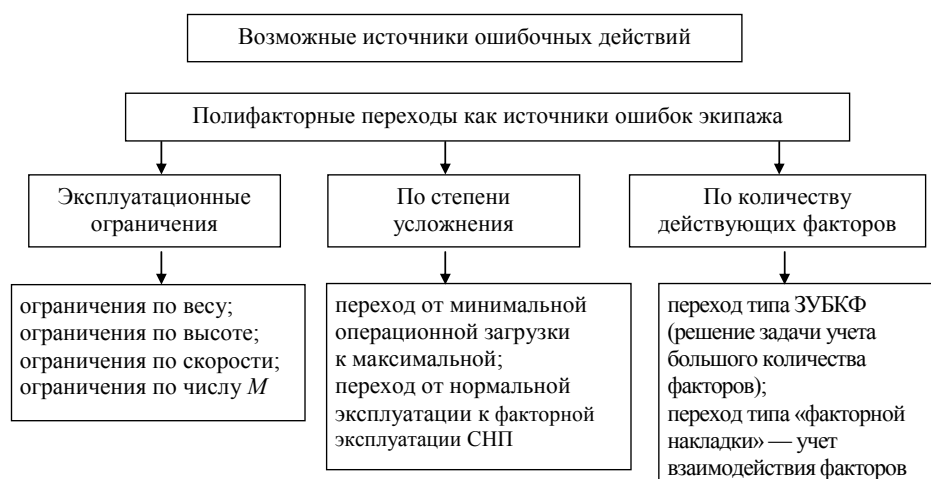


Рис. 5. Полифакторные переходы как источники ошибочных действий экипажа

Таким образом, при переходе от нормальной эксплуатации самолетов к факторной происходит качественное изменение структуры действий пилотов — факторный переход от сенсорного управления к моторно-ограничивающему. Это дает возможность поставить проблему создания специальных программ подготовки пилотов к двум типам управления самолетами.

На рис. 6 приведены отрицательные факторы, сопровождающие первоначальный этап эксплуатации СНП, который позволяет сделать вывод, что деятельность экипажа при факторных и контурных переходах может затрудняться из-за интегрального явления «накладки» технических и инженерно-психологических эффектов контурных переходов.

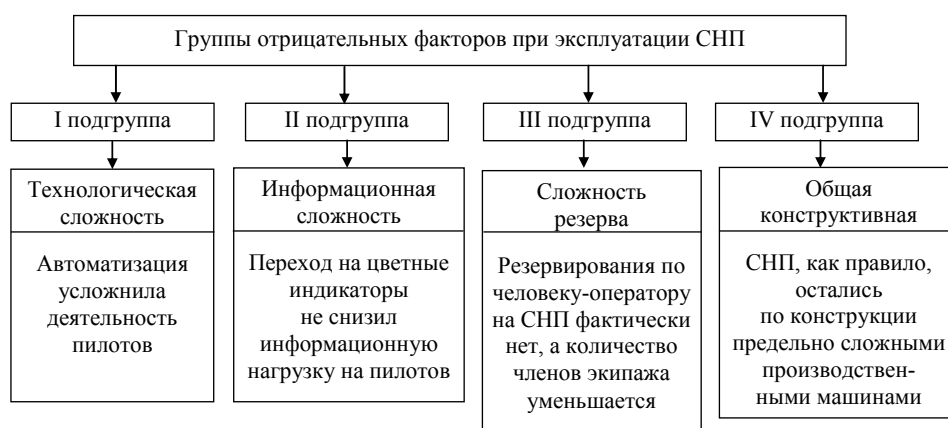


Рис. 6. Группы отрицательных факторов, сопровождающих первоначальный этап эксплуатации СНП

Для снятия ошибок экипажа в процессе подготовки целесообразно ввести понятие «информационного» вида управления самолетами нового поколения (рис. 7).

При процессном анализе можно выделить следующие характеристики контурных переходов:

- маловероятность переходов;
- предельная неопределенность контурных переходов;
- эффект срыва управления в первые моменты появления переходов;
- явление «информационно-факторной накладки» эффекта усиленных отраженных движений с техническим эффектом.

Одной из важнейших задач анализа факторных переходов при эксплуатации СНП — анализ и выявление реальных границ между нормальной и факторной эксплуатациями самолета. Для различных самолетов границы нормальной эксплуатации неодинаковы, но чем совершеннее конструкция самолета, тем шире должен быть диапазон нормальной эксплуатации и уже диапазон факторной эксплуатации. Поэтому снятие неопределенности границ нормальной эксплуатации является важной практической задачей. Эта неопределенность состоит в том, что переход от нормальной эксплуатации к эксплуатации в аварийных ситуациях затеняется массой случаев усложненных условий, классифицировать которые можно как с позиции нормальной, так и с позиции факторной эксплуатации — сложных аварийных ситуаций [7–9].



Рис. 7. Информационные виды управления СНП при контурных переходах

Общая же структура всех руководств по летной эксплуатации СНП такова, что не имеет общей классификации и описания этих двух этапов эксплуатации самолетов. Значительное количество технических систем на борту самолета приводит к реальной возможности полета с одной или несколькими неисправностями на борту, но применение перечней допустимых отказов и неисправностей и перечней минимального оборудования на борту самолета скорее всего рассчитано на принятие решения относительно вылета, чем относительно процесса полета.

Иначе говоря, системная часть руководств по летной эксплуатации описывает условия нормальной эксплуатации, а также предоставляет перечни неисправностей по каждой технической системе, но изолированно, исключая факторную маловероятную накладку неисправностей и отказов различных систем друг на друга при их эксплуатации в целом. Все это создает на практике внезапность и неопределенность переходов для экипажа от нормальной к факторной эксплуатации. Поэтому при такой методологии описания диапазона эксплуатации самолета на практике часто выделяются только крайние точки этого диапазона — нормальная эксплуатация и аварийные ситуации. Все промежуточные границы фактически исчезают. Качественные отличия, например, сложных ситуаций от аварийных просто отсутствуют, а с ними отсутствуют способы предотвращения полета в сложных условиях.

Между тем для самолетов нового поколения, таких как Б-777, Ан-140, Ан-148, Ту-204, А-320, Ил-96, появление аварийной ситуации должно быть маловероятным событием и в руководстве по летной эксплуатации количество таких ситуаций должно быть меньше, чем количество сложных ситуаций. Все ситуации на СНП в первые моменты их возникновения должны быть классифицированы как сложные, поскольку переход к аварийной ситуации может быть

классифицирован после того, когда существующими средствами резервирования, переходами от автоматических к ручным режимам, контурными переходами в системе управления и т. д. не удастся остановить развитие ситуации в отрицательном направлении.

Поэтому необходим принципиально новый подход к методологии первоначальной эксплуатации СНП, учитывающий полифакторные структуры деятельности экипажа и технологии СНП.

Изучение факторных переходов является актуальной проблемой, поскольку:

— типы переходов в системах управления и их роль в реальной эксплуатации малоизучены при начальном внедрении новейших систем управления самолетов нового поколения;

— контурные переходы (внутренние и внешние) в системах управления СНП являются центральным средством повышения эффективности эксплуатации СНП при изменении условий эксплуатации;

— диапазоны эксплуатации нормальные и в условиях возникновения неисправностей и отказов определяют структуры факторных, режимных и контурных переходов;

— при решении проблем безопасности полетов СНП необходимо учитывать технологическую и информационную сложность самолетов, сложность организации резерва и конструкции;

— при первоначальной эксплуатации СНП очень важно применить полифакторный анализ по условиям эксплуатации.

1. *Руководство по предотвращению аварийных происшествий* (Дос. 9422 - А/923), ICAO, 1984. — 138 с.
2. *Руководство ICAO по безопасности. Руководство по управлению безопасностью полетов* (Дос 9859 AN/460), 2006.
3. *Хохлов Е.М.* Решение задачи учета большого количества взаимодействующих факторов кольцевым анализом при противодействии авиаспециалистов факторным нагрузкам // *Эргономические проблемы профессионального отбора, подготовки и адаптации на производстве авиационных специалистов*. — К.: КИИГА, 1985. — С. 80–90.
4. *Скрипещ А.В.* Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання: Навчальний посібник. — Киев: НАУ, 2003. — 396 с.
5. *Федоров С.М., Михайлов О.И., Сухих Н.Н.* Бортовые информационно-управляющие системы: Учебник для вузов / Под ред. С.М. Федорова. — М.: Транспорт, 1994. — 262 с.
6. *Хохлов Е.М.* Явление гиперболических факторных переходов в процессах предотвращения авиационных происшествий и в других биопроизводственных процессах // *Системы безопасности труда в технологических процессах гражданской авиации*. — К.: КИИГА, 1988. — С. 85–91.
7. *Аль-Аммори А.* Информационно-факторный анализ как стратегический принцип борьбы с пожарами силовой установки ВС // *Проблемы безопасности полетов*. — 1997. — № 4. — С. 21–31.
8. *Скрипещ А.В., Аль-Аммори А., Хохлов Е.М.* Процесна концепція аналізу помилок льотних екіпажів із систем керування літаків нового покоління на початковому етапі експлуатації // *Автошляховик України: Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру ТАУ*. — 2007. — Вип. 10. — С. 112–116.
9. *Хохлов Е.М.* Критерии эффективности тренажерной подготовки пилотов методом факторных накладок // *Эргономические методы аттестации рабочих мест и производственных процессов в гражданской авиации*. — К.: КИИГА, 1988. — С. 8–14.

Национальный авиационный университет, Киев,
Национальный транспортный университет, Киев

Получено 10.02.2009