

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ДИРЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ ПРИ ОТКАЗАХ БОРТОВОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЯ

СУХИХ Николай Николаевич, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой; e-mail: snn251@mail.ru
РУКАВИШНИКОВ Валентин Леонидович, доцент кафедры; e-mail: valentin_lr@mail.ru

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, кафедра «Системы автоматизированного управления», Санкт-Петербург

Автоматизированное управление воздушными судами принято разделять на полуавтоматическое (директорное) и автоматическое. Полуавтоматические (директорные) системы обеспечивают сбор и анализ информации о положении воздушного судна в пространстве, поступающей от навигационного оборудования, и выдают пилоту команду. Управление воздушным судном при помощи таких пилотажно-навигационных систем называется полуавтоматическим, так как автоматизированы сбор и обработка информации о состоянии воздушного судна, а управление остается ручным. Системы автоматического управления обеспечивают не только сбор и обработку информации о состоянии воздушного судна, но и формирование законов управления, а также сам процесс управления. Человек осуществляет функции контроля за работой автоматической системы, опознания, принятия решений на включение той или иной программы, функции «горячего» резерва. В настоящей статье показана организация эксперимента и полученные результаты по исследованию процессов директорного управления самолетом при отказах бортового вычислителя системы траекторного управления с включением реального пилота в контур. Исследования проводятся на этапе захода на посадку и посадки воздушного судна. Эксперимент проводился на специальном стенде полунатурного моделирования.

Ключевые слова: воздушное судно; директорное управление; автоматизированное управление; бортовой вычислитель; системы автоматического управления; исследовательские стенды; моделирующие комплексы; экспериментальные исследования; человек-оператор; стенд полунатурного моделирования; аналоговый вычислитель; цифровой вычислитель; информационная поддержка; бортовая экспертная система.

DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-121-132

▼ Введение

Исследовательские стенды и моделирующие комплексы — важный инструмент проектирования и исследования полуавтоматических систем. Применение аналитических методов позволяет, с учетом «расплывчатости» описания пилота, лишь грубо определить структуру и основные параметры систем. Их уточнение приводится в процессе экспериментального исследования. С повышением требований к точности, надежности и безопасности автоматизированного полета роль стендовых испытаний возрастает, увеличивается и их объем [1].

Характерно, что этот процесс идет параллельно с количественным и качественным ростом тренажерной подготовки летного состава. Эти аспекты имеют много общего.

Достоверность результатов стендовых экспериментов, так же как и достижение положительного эффекта при тренажерной подготовке, в значительной степени определяются тем, насколько полно моделируются динамические свойства воздушного судна как объекта управления.

1. Система директорного управления самолетом

Система директорного управления может рассматриваться как некий компромисс, позволяющий совместить положительные свойства автоматических систем и систем ручного (штурвального) управления с участием пилота [2–4]. Особенности человека как звена системы управления присутствуют в системе чисто «ручного» управления самолетом по

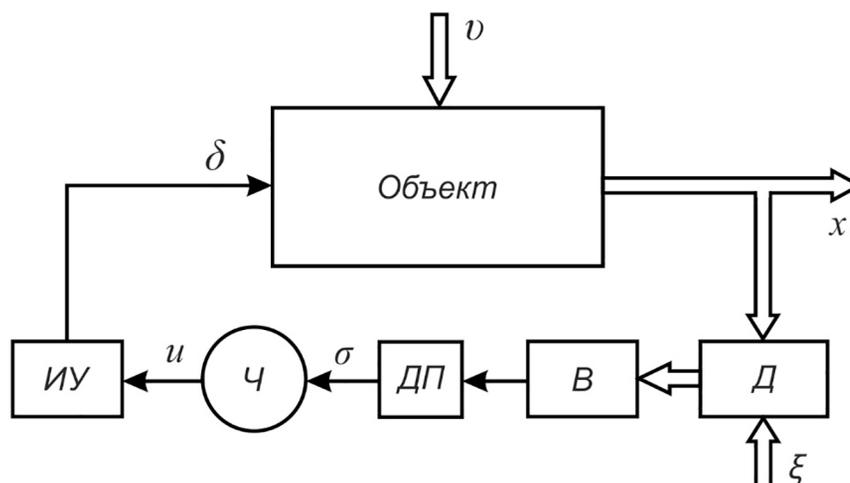


Рис. 1. Система директорного управления самолетом

приборам. Однако здесь они не могут в полной мере проявиться из-за ограниченной скорости переработки информации. Действительно, если в директорной системе об отклонениях от заданной траектории движения можно судить по показаниям одного основного командного прибора, то в системе ручного управления таких приборов, по крайней мере, четыре (указатель отклонений по курсу и глиссаде, авиагоризонт, вариометр, указатель курса). Человек просто не успевает проводить совместную оптимальную обработку всех поступающих сигналов, и качество управления ухудшается. Перечисленные особенности систем директорного управления (СДУ) и обусловили их широкое применение на самолетах.

СДУ (рис. 1) включает объект управления с вектором состояния x , датчики информации D , вычислитель командного сигнала B , директорный прибор $ДП$, человека-оператора $Ч$ и исполнительное устройство $ИУ$.

На систему действуют силовые v и информационные ξ возмущения. Человек-оператор воспринимает командный сигнал σ и создает управляющее воздействие u таким образом, чтобы уменьшить величину командного сигнала.

Высокое качество управления в директорной системе может быть обеспечено только в том случае, если характеристики всех ее звеньев хорошо согласованы друг с другом. Однако одно из звеньев, а именно человек-оператор, не имеет точного математического описания. В связи с этим теоретические оценки точности и надежности СДУ оказываются недостаточно

обоснованными. Для проверки практической применимости разработанной СДУ обязательно требуется испытание ее на полунатурном стенде с включением в контур управления реального человека-оператора.

2. Стенд для проведения полунатурного моделирования

В Санкт-Петербургском государственном университете гражданской авиации на кафедре систем автоматизированного управления был разработан и изготовлен полунатурный стенд (рис. 2), включающий следующие основные блоки [5, 6]:

1. Математическую модель объекта управления (самолета), набранную на двух АВМ с дополнительными блоками переменных коэффициентов.
2. Рабочее место пилота-оператора с приборной доской и органами управления — штурвалом и педалями.
3. Аналоговый вычислитель командного сигнала.
4. Цифровой вычислитель командного сигнала.
5. Имитатор возмущений.
6. Регистрирующая аппаратура.
7. Устройство воспроизведения речевых подсказок.

Модель воспроизводит нелинейную систему уравнений пространственного движения самолета как на воздушном участке взлета и посадки, так и при движении по земле на разбеге и пробеге. Моделируются также уравнения

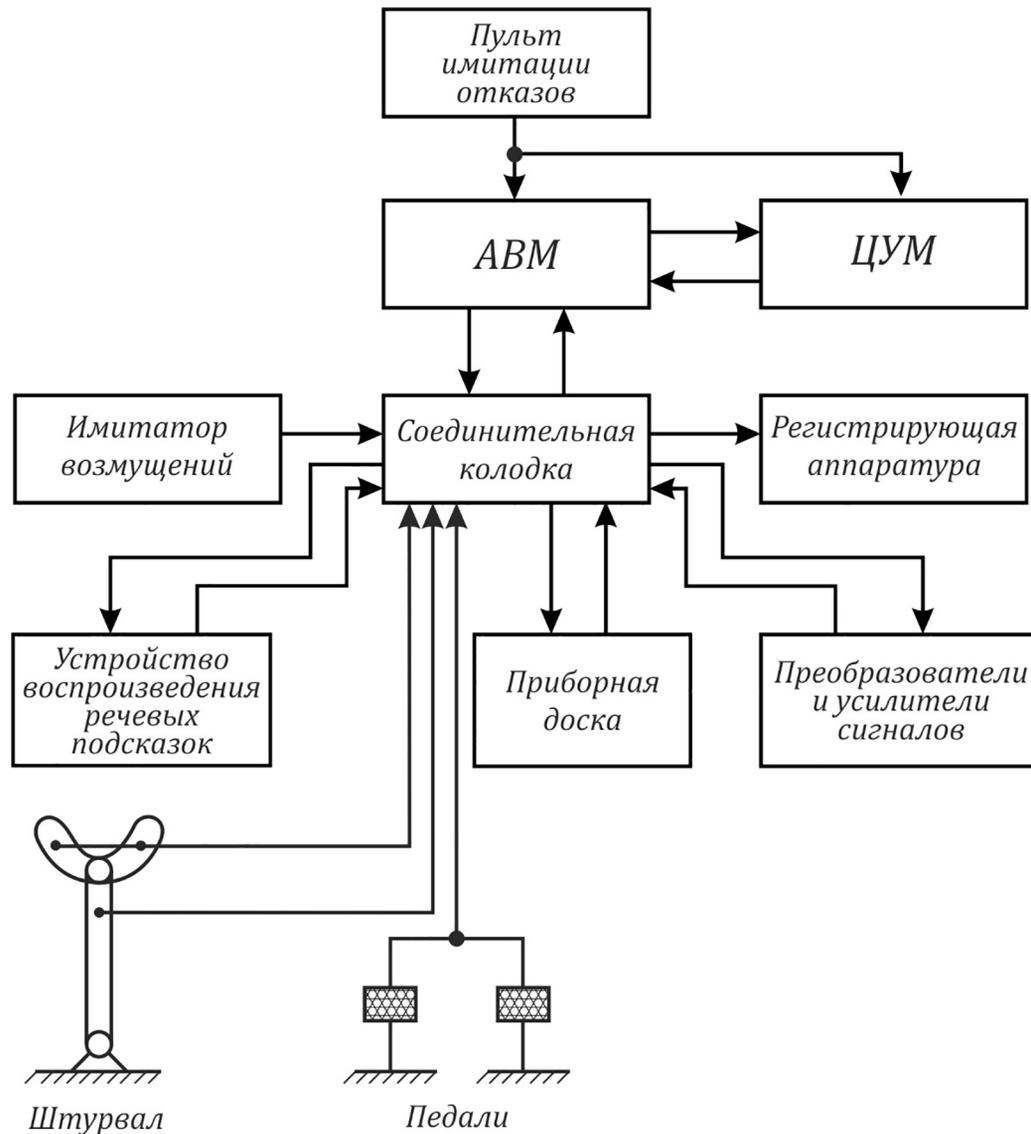


Рис. 2. Функциональная схема пилотажного цифро-аналогового комплекса:
 АВМ — аналоговая вычислительная машина;
 ЦУМ — цифровая управляющая машина (цифровой вычислитель командного сигнала)

подсистемы повышения устойчивости и управляемости в режиме штурвального управления.

Для моделирования процессов автоматического управления самолетом на АВМ, кроме уравнений движения самолета, набраны также уравнения приводов элеронов и руля направления.

Сигналы, пропорциональные компонентам вектора состояния самолета, подаются с выхода АВМ на пилотажные приборы, установленные на приборной доске пилота, а также на вычислитель командного сигнала. С него командный сигнал подается на директорный прибор и на привод элеронов (в автоматическом режиме).

Пилот имитирует процесс управления самолетом, поворачивая штурвал (элероны) и отклоняя педали (руль направления и переднее колесо). Органы управления снабжены пружинными загрузителями и потенциометрическими датчиками для ввода отклонений в модель объекта.

Данный стенд был ранее сконструирован и внедрен на кафедре систем автоматического управления. Авторы статьи принимали непосредственное участие при монтаже и настройках аппаратуры данного стенда. На данной научно-технической базе уже проведен ряд исследований и опубликованы некоторые важные результаты: синтез законов управления,

при действии экстремальных возмущений и прежде всего ветровых; построение областей возможных и допустимых отклонений самолета; субъективные мнения пилотов, участвовавших в эксперименте и т. д. Однако ряд ранее неопубликованных материалов актуален и сегодня. Речь идет об исследовании процессов ручного и директорного управления в условиях отказов вычислителя; сдвига ветра; пилотирования в условиях турбулентности атмосферы и т. д.

В настоящей статье показаны некоторые результаты моделирования процесса захода на посадку на полунатурном стенде в условиях отказов бортового вычислителя.

3. Информационная поддержка экипажа при отказах бортовых систем и агрегатов

Известно, что в Руководстве по летной эксплуатации для каждого типа воздушного судна (ВС) указаны действия экипажа при отказах различных приборов и систем. Однако в Руководстве практически отсутствуют указания экипажу о действиях при различных комбинациях отказов бортового оборудования. В связи с этим необходимость ответа на вопрос, *что* подсказать экипажу при последовательных отказах отдельных элементов, является очевидной. Для решения данной задачи требуется анализ всех комбинаций реально возможных отказов на борту, формирование содержания подсказок для каждого случая и дальнейшая их реализация с помощью речевого интерфейса. Рассмотрение задачи в таком объеме в рамках настоящей статьи авторами не ставилось. При проведении исследований анализировались некоторые реально встречавшиеся в летной практике комбинации последовательных отказов пилотажно-навигационного оборудования [7–9].

Целью проведения полунатурного моделирования явилось исследование процессов управления самолетом на этапе захода на посадку в продольном и боковом каналах как при одиночных отказах вычислителей системы траекторного управления (СТУ), так и при комбинации отказов вычислителей с отказом БКК (блока контроля кренов), о чем сигнализирует блок сигнализатора нарушения питания.

Второй отказ задавался через промежуток времени 1,5 с после возникновения первого. При этом во втором случае проводились две серии экспериментов: отсутствует речевая подсказка экипажу (существующая система), используется подсказка (перспективная система).

Следует отметить, что на стенде могла быть задана любая комбинация отказов. Указанная выше комбинация отказов (вычислитель СТУ + БКК) была выбрана при проведении исследований, исходя из следующего соображения. Известно, что одну из наибольших опасностей для экипажа представляют отказы авиагоризонтов (АГ). Из Руководства по летной эксплуатации самолетов следует, что при отказе самих АГ действия экипажа аналогичны действиям при отказе вычислителей, т. е. отключается СТУ и осуществляется переход на ручное пилотирование. В связи с этим в качестве второго отказа (после отказа вычислителя СТУ) был выбран отказ не самих АГ, а одного из блоков, связанных с АГ, а именно БКК, контролирующего работу авиагоризонтов. Под термином «авиагоризонт» здесь и в дальнейшем понимается резервный авиагоризонт, малогабаритная гировертикаль. Кроме того, следует указать, что данная комбинация отказов возможна для любого типа самолета гражданской авиации.

Рассматривается этап полета самолета по глиссаде с высоты 250 м до пролета ближней приводной радиостанции (БПРС) до высоты 60 м. Время полета 60 с. В каждом пуске предполагалось, что самолет находится на глиссаде (начальные отклонения в вертикальной и боковой плоскостях нулевые).

К проведению полунатурного моделирования были привлечены опытные пилоты, имеющие значительный налет на различных типах самолетов.

Отказы вычислителей вводились через 10 с после начала исследуемого этапа полета. Считалось, что система контроля работы вычислителей абсолютно надежна, и факт появления отказа фиксировался в момент его возникновения. При моделировании рассматривались только сигнализируемые отказы. Сигнализация отказов вычислителей в продольном и боковом каналах производилась по выпаданию соответствующих бленкеров

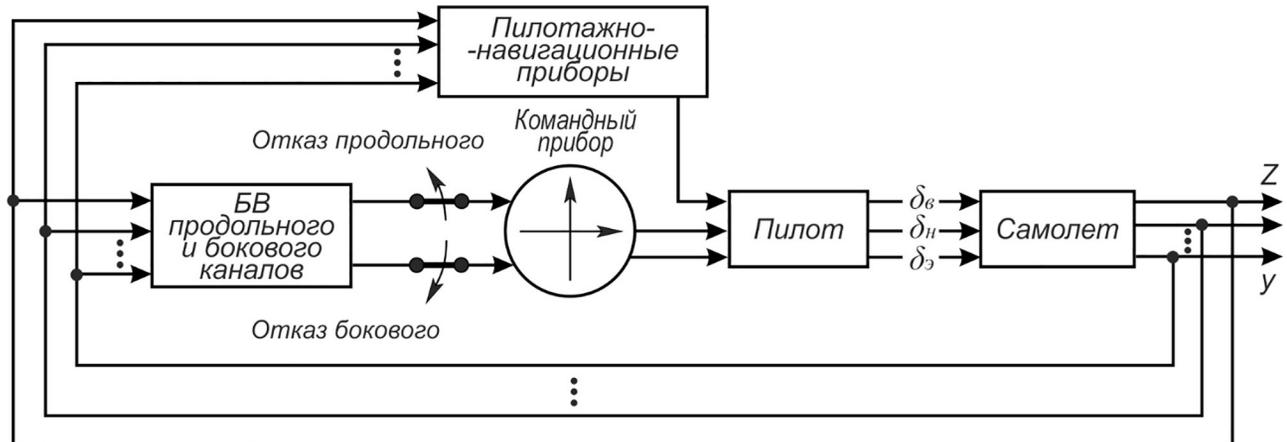


Рис. 3. Структурная схема полуавтоматического управления самолетом:

$\delta_v, \delta_n, \delta_z$ — отклонения руля высоты, руля направления, элеронов;
 $z - \dots - y$ — параметры состояния

на пилотажно-командном приборе (ПКП). Для уменьшения влияния фактора ожидания отказа в процессе захода на посадку пилоты сознательно отвлекались на имитированные радиозапросы о показаниях различных приборов; отказы вводились не во всех заходах; о постоянстве момента времени возникновения отказа не сообщалось пилоту.

При выпадении бленкера отказа вычислитель отключался от прибора, соответствующая командная планка на пилотажно-командном приборе отклонялась в крайнее положение, и осуществлялся переход от директорного режима полета к ручному пилотированию (рис. 3).

Сигнализация отказа блока БКК производилась с помощью сигнальной лампы и табло «НЕТ КОНТРОЛЯ АГ».

Комбинация отказов предусматривала появление в качестве первого отказа отказ вычислителя СТУ, второго — отказ БКК.

После возникновения второго отказа автоматически включался магнитофон и информационная подсказка для данного случая комбинации отказов содержала следующий текст:

Включить СТУ в канале. Выключить БКК.

Выполнять заход в канале в ручном режиме.

Авиагоризонты исправны.

Конечно же, формирование данной информационной подсказки экипажу возможно

осуществить на базе бортовой экспертной системы с речевым интерфейсом. Однако учитывая ограниченные технические возможности стенда (в первую очередь в части бортового вычислителя), указанные подсказки были заранее записаны на магнитофон, который включался после возникновения второго отказа. При этом воспроизводилась нужная для исследуемой ситуации запись. Указанный факт не является принципиальным, так как при проведении исследований анализировался не способ формирования подсказки, а полезность (или бесполезность) информационной подсказки как таковой.

Управление самолетом осуществлялось как в отсутствие, так и при наличии ветровых возмущений.

При полунатурном моделировании учитывалось субъективное мнение летного состава о проводимом исследовании. С их профессиональной точки зрения экспериментальное задание было признано полезным и интересным.

4. Оценка качества

Необходимо задать критерий для оценки качества переходных процессов при управлении самолетом на этапе захода на посадку при сформулированных условиях полета. В случае неавтоматического (директорного или ручного) управления данный критерий фактически служит для оценки техники пилотирования. Критерии оценки техники пилотирования делятся на:

- критерии оценки точности пилотирования;
- критерии оценки рациональности движений органами управления;
- критерии оценки сложности управления;
- критерии оценки напряженности работы.

В сформулированной выше постановке задач, т. е. оценки качества переходных процессов при управлении самолетом, нас будут интересовать критерии оценки точности пилотирования. Среди них можно выделить: терминальные, временные, корреляционные и интегральные.

Особый интерес для оценок погрешностей пилотирования представляют интегральные критерии. Одним из факторов, по которому в настоящее время принято оценивать качество переходных процессов при управлении ВС, является степень их плавности при отработке отклонений и ошибок [10]. Формализацией этого требования является применение интегральных критериев качества.

Критерий в виде интеграла модуля отклонения параметра и его различные модификации были подробно исследованы и апробированы в экспериментах. При этом результаты полетов на тренажере на этапе захода на посадку оценивались инструкторами и с помощью рассматриваемого интегрального критерия точности. Большие значения коэффициентов корреляции между указанными теми и другими оценками доказали возможность и целесообразность применения критерия, заданного интегралом модуля отклонения параметра от линии глиссады, в качестве объективного показателя техники пилотирования и оценки качества процессов управления воздушным судном.

В настоящей статье в качестве критериев были приняты:

$$J_1 = \int_0^T |\xi| dt \text{ — для продольного канала;}$$

$$J_2 = \int_0^T |Z| dt \text{ — для бокового канала,}$$

где T — время рассматриваемого этапа полета (60 с); ξ — угловое отклонение от глиссады в вертикальной плоскости; Z — линейное боковое отклонение от глиссады.

Кроме того, для общей оценки качества деятельности использовались:

- значения углов отклонения от глиссады в вертикальной ξ и боковой ϵ плоскостях в момент пролета БПРС (или соответствующих линейных величин);
- значения крена и вертикальной скорости над БПРС;
- максимальные значения ϵ и ξ на рассматриваемом этапе полета (или линейных величин).

5. Результаты моделирования при отсутствии речевой подсказки

Факт стабильности результатов у пилотов одного класса при полунатурном моделировании директорной системы был отмечен в предыдущем параграфе и других ранних исследованиях. Он подтвержден и при моделировании системы в случае отказов вычислителей и других систем. Здесь хочется еще раз подчеркнуть, что даже при действии случайного турбулентного ветра, исключающего программную подстройку пилотов, наблюдался малый разброс параметров для пилотов и даже часто сохраняющийся характер процесса.

В этой связи хочется заметить, что применение статистического подхода при обработке результатов директорного управления при отказах бортовых вычислителей, во-первых, неприемлемо технически, так как размерность вектора параметров, исследуемых при полунатурном моделировании продольного и бокового каналов, много больше единицы; во-вторых, данные, полученные при моделировании с учетом отказов вычислителей, искажаются нестационарностью характеристик пилота. При моделировании набор пусков в количестве более одной серии становится статистически неоднородным. Количество пусков одной серии рекомендовано 5–6.

Кроме того, следует отметить важный факт: опытные пилоты показывали стабильные значения и интегральных критериев качества и при фиксированных условиях эксперимента. Этот факт вытекает из предыдущих рассуждений о стабильности результатов, что в конечном итоге объясняется консервативностью поведения пилотов, выработанного в процессе

управления реальным самолетом в летной практике.

Исследования проводились в продольном и боковых каналах при наличии ветра.

На рис. 4 и 5 приведены движения системы в продольном канале. Из анализа записей траекторного движения по ξ и Z видны значительные отклонения: $\xi = -0,11^\circ$ вниз, $Z = 10$ м ($\epsilon \approx 0,13^\circ$). Причем максимум по боковому отклонению находится над БПРС. Наблюдается существенное изменение вертикальной скорости \dot{y} за рассмотренное время полета. Значение крена при пролете БПРС $\gamma = 10^\circ$, что является предельно допустимым значением на этапе захода на посадку.

Значения интегральных оценок в данных сериях пусков были соответственно равны 3 град. с и 320 м. с. Следует отметить, что максимальный разброс значений данных оценок в различных сериях при фиксированных условиях экспериментов составлял соответственно 0,3 град. с и 10 м. с.

На рис. 6 и 7 показаны движения системы при наличии ветра и указанной комбинации отказов в продольном и боковом каналах. Наблюдается большая колебательность углового и траекторного движения с максимальными отклонениями $\Delta\theta > 4^\circ$, $Z = 24$ м ($\epsilon \approx 0,3^\circ$) и $\xi = 0,23^\circ$ вверх. Значение вертикальной скорости над БПРС $\dot{y} = -5,2$ м/с.

Как видно из данных рисунков, качество процессов существенно ухудшилось. Значения интегральных оценок при этом равны 4 град. с и 400 м. с. Наибольшее ухудшение качества процессов управления происходит в продольном канале при выходе ряда параметров за эксплуатационные ограничения. Пилоты отмечали, что в подобных условиях эксперимента, сопровождающихся существенной болтанкой самолета, появление второго отказа усложняло ситуацию. Учитывая и без того непростые условия пилотирования, на срабатывание индикации «НЕТ КОНТРОЛЯ АГ» иногда первой ошибочной реакцией была трактовка данного факта, как отказ АГ. Это, в свою очередь, приводило к необходимости принятия мер и выполнения действий, необходимых для данного типа отказа. Общим мнением летного состава явилось, что в рассматриваемом случае

информационная подсказка (которую пилоты называли разъясняюще-успокаивающей) была бы очень полезна [11].

6. Исследование процессов управления при использовании речевого интерфейса

Движения системы при использовании информационной подсказки, текст которой представлен ранее, для случая комбинации отказов вычислителей СТУ и БКК в продольном и боковом каналах приведены на рис. 8 и 9. Сравнения данных записей с рис. 6 и 7 показывают улучшение качества управления в обоих каналах. Так, значения интегральных оценок J_1 и J_2 уменьшились до 2 град. с и 340 м. с. Кроме того, из субъективного мнения летного состава следовало, что выдача такой подсказки заключала в себе два положительных аспекта: разъяснение необходимой последовательности действий, придание уверенности в их выполнении.

При этом характер процессов управления для рассмотренных выше условий эксперимента был практически идентичен представленным записям. Значения интегральных оценок J_1 и J_2 (и что самое главное, тенденция их изменения для различных случаев) были также близки.

Конечно же, приведенные результаты не исчерпывают предмет и существо возможных исследований. Дальнейшие эксперименты должны предполагать наличие других возможных комбинаций отказов, различных видов речевых подсказок с точки зрения тональности, громкости, использования мужского или женского голоса и т. п.

Заключение

Система подготовки летного состава (ЛС) направлена на развитие и поддержание летных навыков и умений по эффективной эксплуатации воздушного судна в ожидаемых условиях (ОУ) и особых ситуациях (ОС).

В настоящее время процесс обучения ЛС содержит три этапа:

- теоретическое обучение;
- тренажерная подготовка на комплексных тренажерных средствах (КТС);

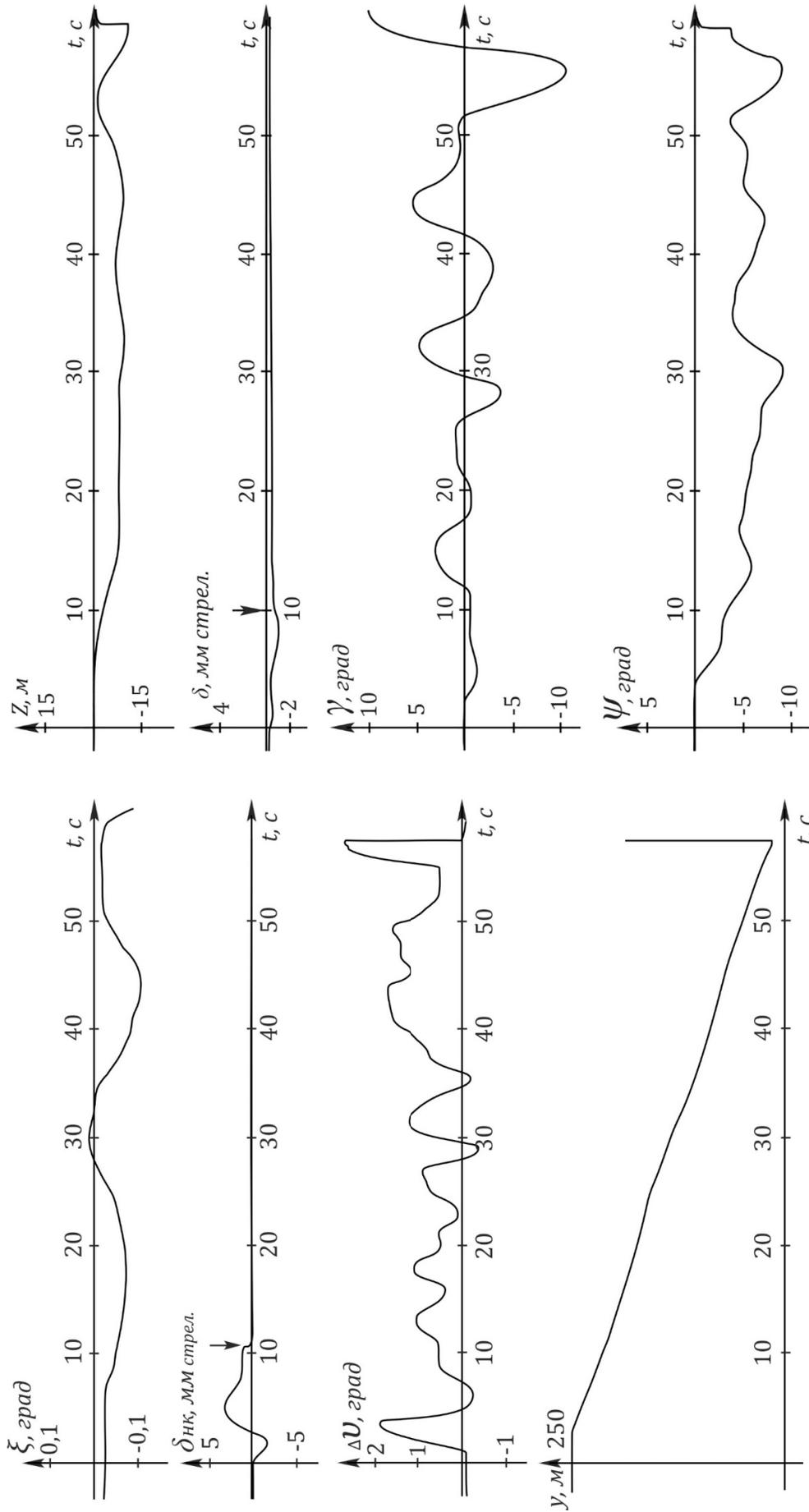


Рис. 4. Продольный канал; одиночный отказ вычислителя; отсутствие подсказки; турбулентность атмосферы:
 ξ — момент возникновения отказа; $\delta_{нк}$, мм стрел. — командный сигнал;
 ΔU — изменение угла тангажа; y — траектория (высота)

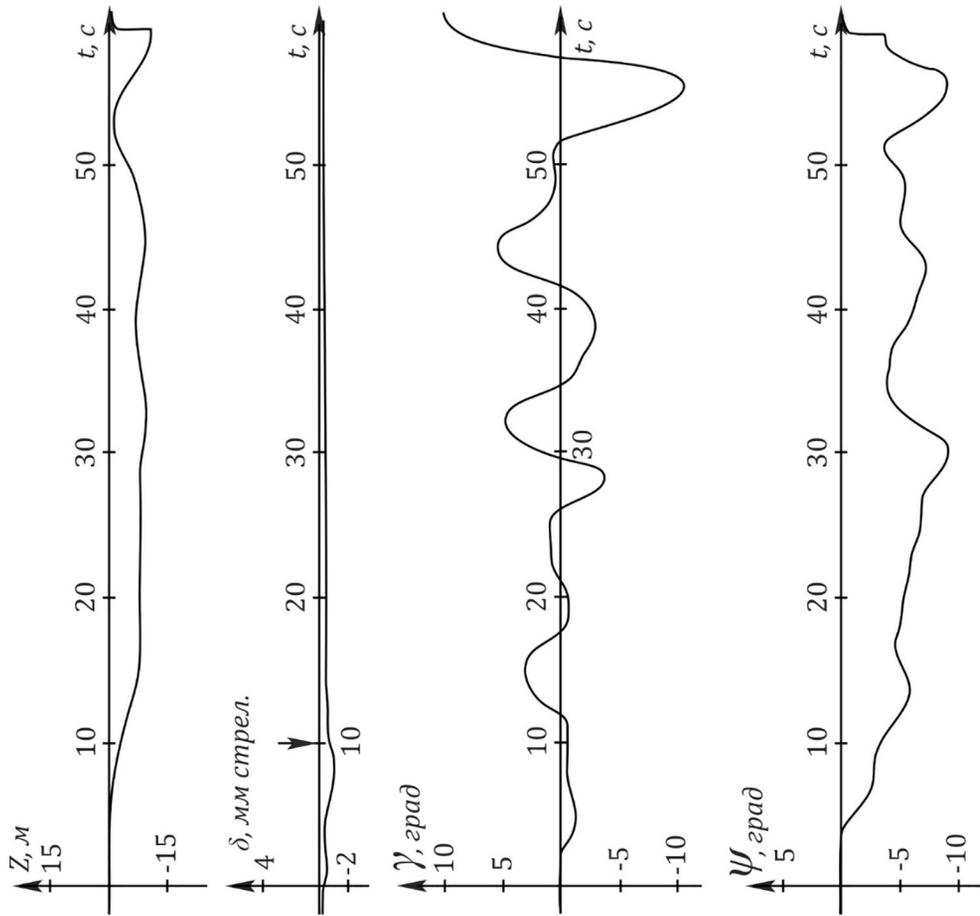


Рис. 5. Боковой канал; одиночный отказ вычислителя; отсутствие подсказки; турбулентность атмосферы:
 Z , м — боковое отклонение; $\delta_{мм}$ стрел. — командный сигнал;
 γ — крен; ψ — курс

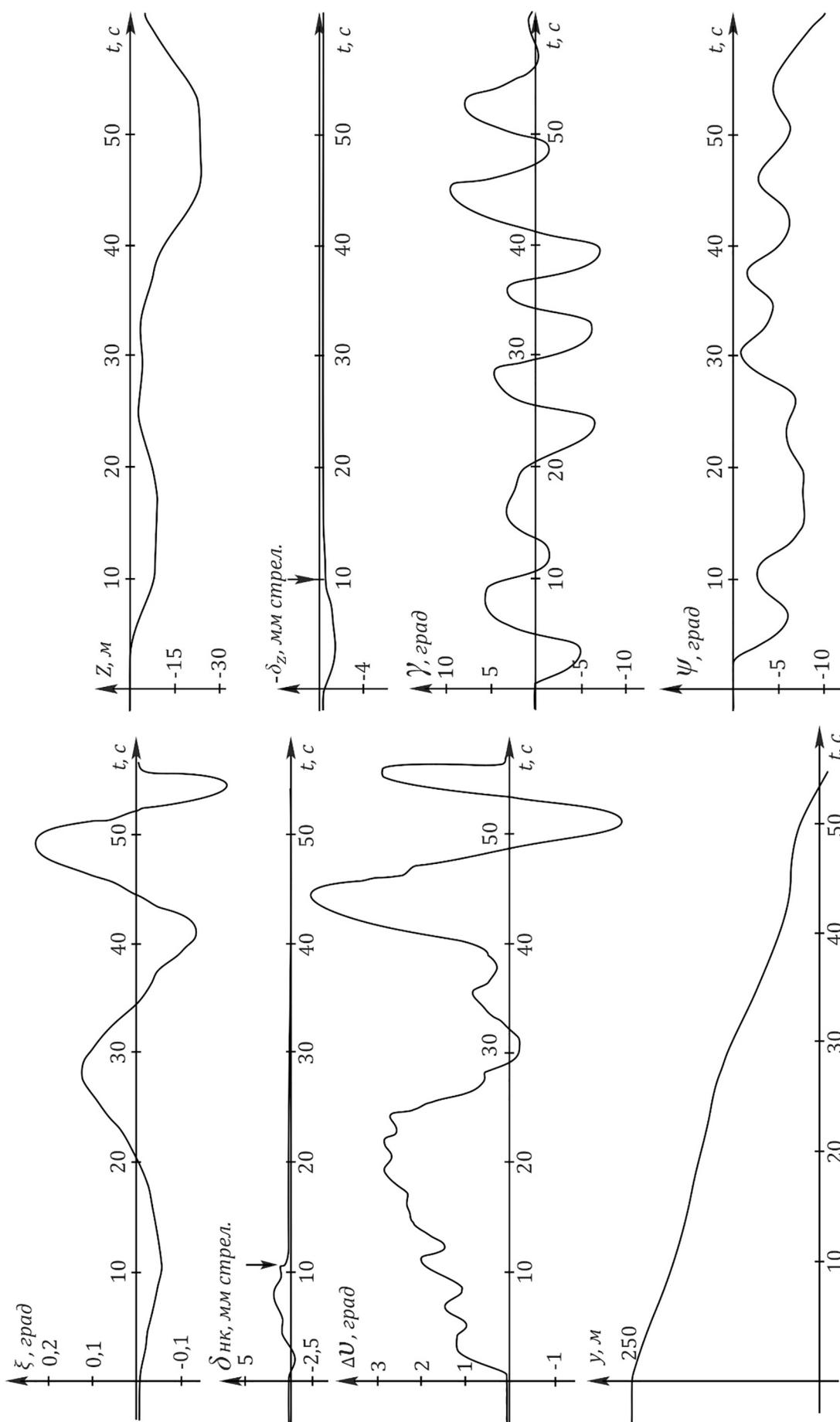


Рис. 6. Продольный канал; комбинация отказов; отсутствие подсказки; турбулентность атмосферы

Рис. 7. Боковой канал; комбинация отказов; отсутствие подсказки; турбулентность атмосферы

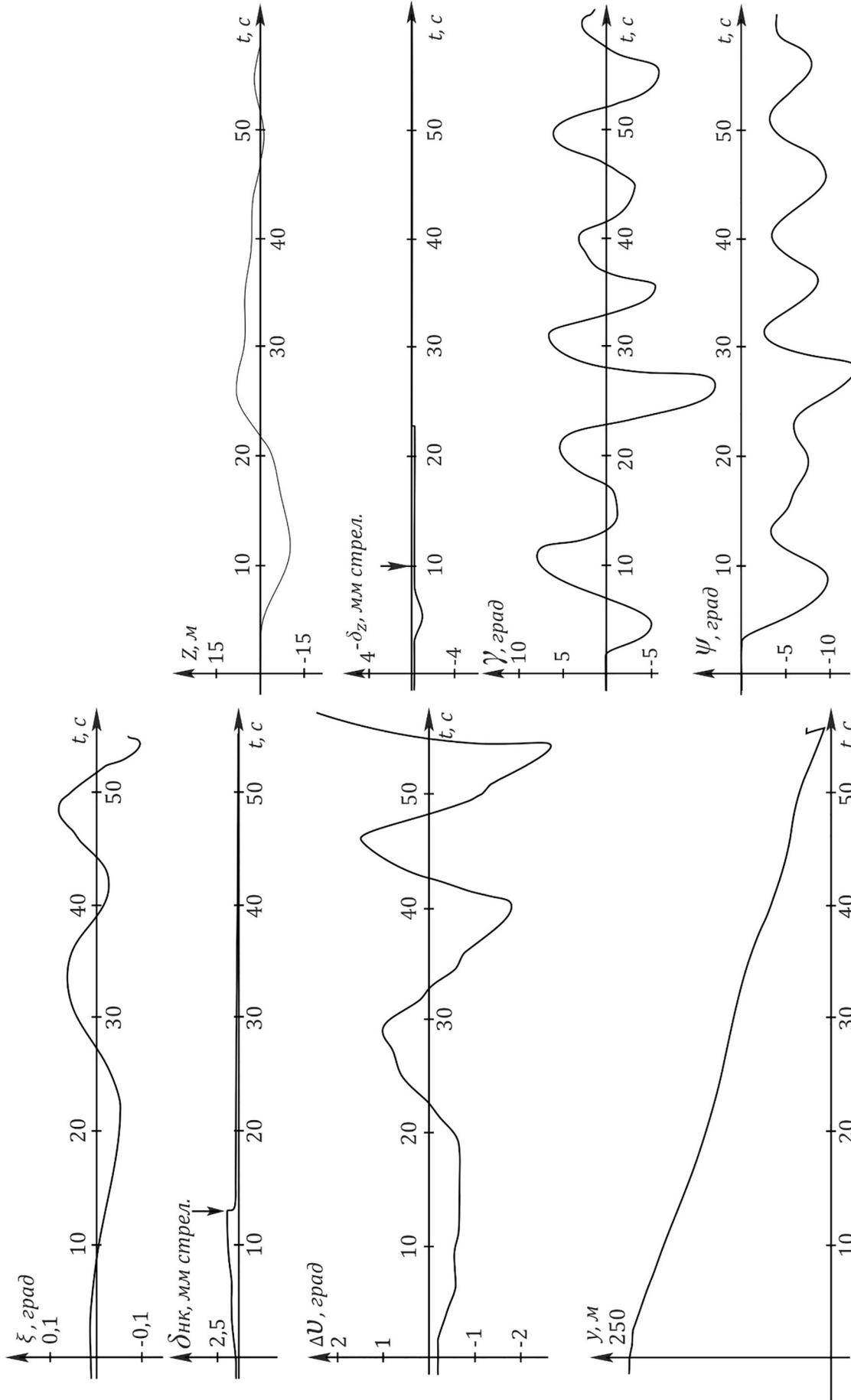


Рис. 8. Продольный канал; комбинация отказов; наличие информационной подкачки; турбулентность атмосферы

Рис. 9. Боковой канал; комбинация отказов; наличие информационной подкачки; турбулентность атмосферы

– подготовка на воздушном судне в учебных или производственных полетах.

При прохождении всех трех этапов обучения пилотами должен быть реализован фундаментальный принцип методики летного обучения: приобретение знаний — навыков — умений.

Проведенные исследования показали, что существующие методы и средства подготовки экипажей при освоении современных и особенно перспективных самолетов и вертолетов, ориентированные в основном на комплексные тренажеры, не всегда формируют в достаточной степени профессионального важного качества по управлению ВС в ОУ и ОС. Этот результат объясняется усложнением самого ВС как объекта управления, существенным расширением функциональных возможностей бортового оборудования, сокращением необходимого экипажу времени для предупреждения ОС на борту. Данное обстоятельство приводит к необходимости совершенствовать систему обучения ЛС, подразумевающую внедрение в дополнение к существующим этапам подготовки на специализированных тренажерах, которая предшествует тренажерной подготовке на КТС. Использование специализированных тренажеров, обеспечивающих адаптивное индивидуализированное обучение, позволит сформировать знания, навыки и умения ЛС по устройству и эксплуатации отдельных систем, выработать автоматизированный навык деятельности в ОС полета, существенно сократить время дорогостоящей летной подготовки на реальном ВС.

Разработанный стенд для исследования процессов директорного управления ВС на этапе захода на посадку в том числе при возникновении различных комбинаций отказов бортового оборудования является важнейшим звеном для решения указанной выше задачи [12–15]. ▲

Библиографический список

1. Федоров С. М. Бортовые информационно-управляющие системы: учебник для вузов / С. М. Федоров, О. И. Михайлов, Н. Н. Сухих; ред. С. М. Федорова. — М.: Транспорт, 1994. — 261 с.
2. Кейн В. М. Автоматизированное управление полетом воздушных судов / В. М. Кейн, О. И. Михайлов, Н. Н. Сухих, С. М. Федоров; под ред. С. М. Федорова. — М.: Транспорт, 1992. — 264 с.
3. Исследование и моделирование деятельности человека-оператора / Под ред. Ю. М. Забродина. — М.: Наука, 1981. — 150 с.
4. Shen Q. Finite-time fault-tolerant attitude stabilization for spacecraft with actuator saturation / D. Wang, S. Zhu, K. Poh // IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems. — 2015. — Vol. 51. — № 3. — Pp. 2390–2405.
5. Кейн В. М. Оптимизация систем управления по минимаксному критерию / В. М. Кейн. — М.: Наука, 1985. — 248 с.
6. Gao Z. Stability of the pseudo-inverse method for reconfigurable control systems / Z. Gao, P. J. Antsaklis // International Journal of Control. — 1991. — Vol. 53. — № 3. — Pp. 717–729.
7. Дмитриев В. А. Повышение эффективности использования полетной информации при управлении безопасностью полетов гражданских воздушных судов / В. А. Дмитриев, Н. Н. Сухих, В. Л. Рукавишников // Общероссийский научно-технический журнал «Полет». — 2020. — № 7 — С. 39–45.
8. Благинин А. А. Современное состояние и проблемы тренировки пространственной ориентировки летчиков / А. А. Благинин, С. Н. Синельников, С. П. Ляшедько // Авиакосмическая и экологическая медицина. — 2017. — Т. 51. — № 1. — С. 65–69. — DOI: 10.21687/0233-528X-2017-51-1-65-69.
9. Kelly D. An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017 / D. Kelly, M. Efthymiou // Journal of Safety Research. — June 2019. — Vol. 69. — Pp 155–165. — DOI: 10.1016/j.jsr.2019.03.009.
10. Белгородский С. Л. Автоматизация управления посадкой самолета / С. Л. Белгородский. — М.: Транспорт, 1972. — 350 с.
11. Исследование и моделирование деятельности человека-оператора / Под ред. Ю. М. Забродина. — М.: Наука, 1981. — 150 с.
12. Зыбин Е. Ю. Аналитическое решение задачи оптимальной реконфигурации системы управления летательного аппарата при отказе нескольких органов управления / Е. Ю. Зыбин, В. В. Косьянчук, А. М. Кульчак // Мехатроника, автоматизация, управление. — 2014. — № 7. — С. 59–66.
13. Сухих Н. Н. Предупреждение предельных режимов полета / Н. Н. Сухих — М.: Транспорт, 1992. — 62 с. — Сер.: Безопасность движения на транспорте.
14. Кейн В. М., Сухих Н. Н., Федоров С. М. Использование бортовых экспертных систем для управления заходом на посадку / В. М. Кейн, Н. Н. Сухих, С. М. Федоров // Тезисы доклада II Всесоюз. совещания по проблемам управления. — М.: АН СССР, 1989 — С. 103.
15. Reva O. Ergonomic assessment of instructors capability to conduct personality-oriented training for air traffic control (ATC) personnel / O. Reva, S. Borsuk, V. Shulgin, S. Nedbay // Advances in Intelligent Systems and Computing. — 2020. — Vol. 964. — Pp. 783–793. — DOI: 10.1007/978-3-030-20503-470/.

TRANSPORT AUTOMATION RESEARCH, 2022, Vol. 8, No. 2, pp. 121–132
DOI: 10.20295/2412-9186-2022-8-02-121-132

Research of the Processes of Aircraft Director Control at Board Calculator Failure

Information about authors

Sukhikh N. N., Doctorate Second Degree in Technical Sciences, Professor.

E-mail: snn251@mail.ru

Rukavishnikov V. L., Assistant Professor. E-mail: valentin_lr@mail.ru

Saint Petersburg State University of Civil Aviation, Department of Automatic Control Systems, Saint Petersburg

Abstract: It's accepted to divide aircraft automatic control into semi-automatic (director) and automatic. Semi-automatic (director) systems provide for the collection and analysis of information, delivered from navigation equipment. On aircraft position in space and give a command to a pilot. Aircraft management with the help of such piloting-navigational systems is called semi-automatic because information collection and processing on aircraft condition is automated but the control's left to be manual. Automatic control systems provide not just for information collection and processing on aircraft state but also for management laws as well as for control process itself. A man implements functions on automatic system work control, on identifying, making decisions on inclusion of this or that program, function of "hot" reserve. Present article shows experiment organization and obtained results on research of the processes of airplane director management while failures of board calculator of trajectory control system with real pilot inclusion into circuit. The research is held on the stage of aircraft approach and landing. The experiment was held on special bench of half-real modeling.

Keywords: aircraft; director control; automatic control; board calculator; automatic control systems; research benches; modeling complexes; experimental research; man-operator; half-real modeling bench; analog calculator; digital calculator; information support; board expert system.

References

1. Fedorov S. M. *Bortovye informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Onboard information and control systems]. Moscow: Transport Publ., 1994. 261 p. (In Russian)
2. *Avtomatizirovannoe upravlenie poletom vozdushnykh sudov* [Automated flight control of aircraft]. Moscow: Transport Publ., 1992. 264 p. (In Russian)
3. *Issledovanie i modelirovanie deyatel'nosti cheloveka-operatora* [Research and modeling of the activity of a human operator]. Moscow: Nauka Publ., 1981. 150 p. (In Russian)
4. Shen Q. Finite-time fault-tolerant attitude stabilization for spacecraft with actuator saturation / D. Wang, S. Zhu, K. Poh. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*. 2015, vol. 51, I. 3, pp. 2390–2405.
5. Keyn V. M. *Optimizatsiya sistem upravleniya po minimaksnomu kriteriyu* [Optimization of control systems according to the minimax criterion]. Moscow: Nauka Publ., 1985. 248 p. (In Russian)
6. Gao Z., Antsaklis P. J. Stability of the pseudo-inverse method for reconfigurable control systems. *International Journal of Control*. 1991, vol. 53, I. 3, pp. 717–729.
7. Dmitriev V. A., Sukhikh N. N., Rukavishnikov V. L. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya poletnoy informatsii pri upravlenii bezopasnost'yu poletov grazhdanskikh vozdushnykh sudov [Improving the efficiency of the use of flight information in the management of the safety of flights of civil aircraft]. *Obshcherossiyskiy nauchno-tekhnicheskii zhurnal «Polet»* [All-Russian scientific and technical journal "Flight"]. 2020, I. 7, pp. 39–45. (In Russian)
8. Blaginina A. A., Sinel'nikov S. N., Lyashed'ko S. P. Sovremennoe sostoyanie i problemy trenirovki prostranstvennoy orientirovki letchikov [The current state and problems of pilots' spatial orientation training]. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina* [Aerospace and Ecological Medicine]. 2017, vol. 51, I. 1, pp. 65–69. DOI: 10.21687/0233-528Kh-2017-51-1-65-69 (In Russian).
9. Kelly D., Efthymiou M. An analysis of human factors in fifty controlled flight into terrain aviation accidents from 2007 to 2017. *Journal of Safety Research*. June 2019, vol. 69, pp 155–165. DOI: 10.1016/j.jsr.2019.03.009
10. Belogorodskiy S. L. *Avtomatizatsiya upravleniya posadkoy samoleta* [Aircraft landing control automation]. Moscow: Transport Publ., 1972. 350 p. (In Russian)
11. *Issledovanie i modelirovanie deyatel'nosti cheloveka-operatora* [Research and modeling of the activity of a human operator]. Moscow: Nauka Publ., 1981. 150 p. (In Russian)
12. Zybin E. Yu., Kos'yanchuk B. B., Kul'chak A. M. Analiticheskoe reshenie zadachi optimal'noy rekonfiguratsii sistemy upravleniya letatel'nogo apparata pri otkaze neskol'kikh organov upravleniya [Analytical solution of the problem of optimal reconfiguration of the aircraft control system in case of failure of several controls]. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, automation, control]. 2014, I. 7, pp. 59–66. (In Russian)
13. Sukhikh N. N. *Preduprezhdenie predel'nykh rezhimov poleta* [Flight limit warning]. 62 p. Moscow: Transport Publ., 1992. (In Russian)
14. Keyn V. M., Sukhikh N. N., Fedorov S. M. Ispol'zovanie bortovykh ekspertnykh sistem dlya upravleniya zakhodom na posadku [The use of on-board expert systems for approach control]. *Tezisy doklada II Vsesoyuzn. soveshchaniya po problemam upravleniya* [Abstracts of the report II All-Union. management meetings]. Moscow: AN SSSR Publ., 1989, p. 103. (In Russian)
15. Reva O., Borsuk S., Shulgin V., Nedbay S. Ergonomic assessment of instructors capability to conduct personality-oriented training for air traffic control (ATS) personnel. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2020, vol. 964, pp. 783–793. DOI: 10.1007/978-3-030-20503-470