

ОТЗЫВ

официального оппонента Гребёнкина Александра Витальевича
на диссертационную работу Десятника Павла Анатольевича на тему
**«КРИТЕРИИ УПРАВЛЯЕМОСТИ НЕМАНЕВРЕННЫХ САМОЛЕТОВ В
ПУТЕВОМ КАНАЛЕ УПРАВЛЕНИЯ»,**

представленной к защите на соискание учёной степени кандидата технических наук
по специальности

2.5.16 «Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов»

Актуальность темы диссертации

Несмотря на широкую автоматизацию систем штурвального управления современных пассажирских самолетов, вопросы *формирования оптимальных для данного класса самолётов характеристик управляемости* являются приоритетными с точки зрения обеспечения безопасности пилотируемого полета во всей области ожидаемых условий эксплуатации (ОУЭ). Основными показателями динамических и статических характеристик управляемости являются *критерии управляемости*, которые связывают эти характеристики с оценками летчиков. Это позволяет аналитически, без проведения дорогостоящих стендовых и летных экспериментов, ещё на стадии проектирования определять наилучшие величины характеристик управляемости создаваемых самолетов.

Несмотря на существующие нормативные документы и известные критерии управляемости, которым должны удовлетворять все создаваемые и находящиеся в эксплуатации самолеты, острота проблемы безопасности полета не снижается. Это подтверждается рядом катастроф, произошедших в последние годы с пассажирскими самолетами при заходе на посадку по вине неудовлетворительных характеристик управляемости, в частности, в боковом канале. Особенность выбора характеристик управляемости в боковом канале определяется довольно сложным взаимовлиянием характеристик поперечного и путевого каналов управления. Эмпирический выбор этих характеристик представляет собой довольно трудоемкий, затратный и длительный процесс. Диссертационная работа Десятника Павла Анатольевича направлена на разработку критериев управляемости, позволяющих производить выбор динамических и статических характеристик управляемости путевого канала управления и

Отдел документационного
обеспечения МАИ

«10» 11 2021 г.

характеристик, определяющих взаимосвязь движений крена и рыскания. По этой причине тема диссертационной работы Десятника П.А. является **актуальной и практически ценной**.

Достоверность и новизна результатов, полученных в диссертационной работе

Анализ содержания диссертации Десятника П.А. позволяет считать основным результатом работы *создание системы взаимосвязанных критериев, позволяющих расчетным методом выбрать наилучшие величины параметров, характеризующих управляемость в путевом канале неманевренного самолета, к которым относятся:*

- динамические характеристики,
- чувствительность управления угловым движением рыскания с учётом движения крена при управлении линейным боковым перемещением самолета с помощью руля направления.

Единый подход к созданию критериев управляемости, основанный на обобщении свойств летчика как звена в контуре управления, определяет **новизну и теоретическую значимость диссертационной работы**.

Достижению этого результата сопутствовало последовательное решение других задач, которые являются *самостоятельными результатами с точки зрения научного и практического значения:*

1. Создана упорядоченная и полная по количеству рассмотренных параметров *база экспериментальных данных*, позволившая выявить закономерности влияния основных параметров бокового движения на управляемость неманевренного самолета в путевом канале;
2. Получен *критерий для оценки тенденции к резкой реакции* самолета в путевом канале на управляющие действия летчика в зависимости от различных характеристик бокового движения самолета;
3. Предложен *модифицированный алгоритм управления системой подвижности кабины пилотажного стенда* в боковом канале для выявления тенден-

ции к резкой реакции самолета на управляющие действия летчика в путевом канале.

Достоверность результатов работы обеспечивается корректным использованием уравнений динамики полета и методов полунатурного моделирования на пилотажных стендах с использованием объективных показателей и субъективных оценок летчиков и подтверждается хорошим совпадением расчета по разработанным критериям с экспериментальными данными, полученными в настоящей работе. Работоспособность и эффективность разработанных критериев подтверждена их использованием при выборе параметров системы управления в путевом канале современного высокоавтоматизированного пассажирского самолета МС-21-300.

Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на различных конференциях, в том числе международных. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ: 4 в периодических изданиях, рекомендованных ВАК, 4 в журналах, входящих в Scopus, 10 тезисов докладов на международных и всероссийских научных конференциях и семинарах.

Структура диссертации

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и двух приложений, изложена на 176 страницах печатного текста, включает 83 рисунка, 3 таблицы и список используемой литературы из 82 наименований.

Во введении автор обосновывает актуальность темы диссертации, научную новизну и практическую значимость диссертационной работы, формулирует цель работы и задачи исследований, определяет положения, выносимые на защиту, кратко излагает состояние вопроса в исследуемой области.

В первой главе автором определены условия эксперимента и разработана методика проведения экспериментов на пилотажном стенде с подвижной кабиной, дается описание задач пилотирования (штатных в ОУЭ и специальных, к которым относились задачи пилотирования типа «прыгающая полоса» и «отслеживание заданного угла курса»), для выявления особенностей влияния характеристик самолета на управляемость в боковом движении. Особое внимание автор уделяет выводу *уравнений бокового движения в обобщенных параметрах*, которые включают в себя не

только аэродинамические характеристики, но и обратные связи в системе управления, что позволяет применить полученные результаты и разработанные критерии к самолётам с различным уровнем автоматизации в системе управления. Выделенные обобщенные параметры поперечного и путевого каналов управления варьировались в экспериментах в пределах, достаточных для моделирования динамических конфигураций неманевренных самолетов с массами от 30 до 200 тонн. Всего было рассмотрено более 500 различных динамических конфигураций. В экспериментах принимали участие летчики-испытатели ПАО «Иркут», ПАО «Туполев» и ЛИИ им. М.М. Громова.

Во второй главе даются рекомендации по уточнению имеющихся требований к динамическим характеристикам путевого канала управления. Показано, что в дополнение к имеющимся ограничениям «снизу» для собственной частоты и демпфирования движения рыскания должны быть введены ограничения «сверху» в связи с возникновением явления **резкой реакции** самолета на управляющие действия летчика. Расположение верхней границы динамических характеристик зависит от чувствительности управления по рысканию, выноса летчика относительно мгновенного центра ускорений и постоянной времени префильтра в системе управления.

Для определения тенденции к резкой реакции самолета на управляющие действия летчика разработан **новый критерий**, основанный на психофизических особенностях восприятия летчиком линейных перегрузок и угловых скоростей. *Согласно критерию степень резкости реакции можно оценить по отношению уровня возникающей боковой перегрузки к уровню создаваемой угловой скорости рыскания.*

Проведенный автором анализ показывает, что в наземных условиях резкая реакция может быть определена только на подвижных пилотажных стендах с имитацией боковой перегрузки. Для улучшения качества воспроизведения боковых перегрузок в работе даны рекомендации по модификации алгоритмов управления движением кабины стенда.

Третья глава посвящена разработке критериев для оценки оптимальных величин чувствительности управления в путевом канале. Разработка критериев для вы-

бора чувствительности управления в боковом движении опиралась на глубокое исследование влияния характеристик боковой устойчивости и управляемости на чувствительность управления рулём направления. Приводятся экспериментальные данные по влиянию динамических характеристик самолёта в путевом канале на выбор оптимальной чувствительности управления. Рассмотрено влияние таких факторов как:

- влияние момента поперечной статической устойчивости и характеристик поперечного канала управления;
- влияние производной n_z^β и скорости полёта;
- влияние загрузки педалей;
- влияние динамики приводов в системе управления рулём направления и эффективность путевого управления.

Полученные экспериментальные данные показывают, что для каждой динамической конфигурации существует определённое оптимальное значение чувствительности управления (оптимальная реакция самолёта на перемещение педалей). Показано, что оптимальная величина чувствительности управления в путевом канале существенным образом зависит от собственной частоты и демпфирования.

На основании анализа полученных экспериментальных данных автором диссертационной работы приводится строгий математический вывод формул и обоснование *новых критериев управляемости («частотный» и «временной» критерии)*, исходя из минимума функционала, определяющего отклонение усилий и перемещений на рычаге управления от некоторого желаемого уровня, определяющие их физический смысл. Для **критерия в частотной области** («частотный» критерии) оптимальные величины чувствительности управления выбираются исходя из определённого значения параметра A амплитудно-частотной характеристики углового движения рыскания на некоторой характерной частоте ω_* . Для **временного критерия** («временной» критерии) оптимальная чувствительность путевого управления определяется характером реакции самолёта на определённое отклонение педалей: величины управляемости являются оптимальными, если на определенное отклоне-

ние педалей в течение 3.5 с достигается определенная максимальная скорость рыскания независимо от динамических характеристик самолета.

С целью обоснования критериев и выбора величин констант, входящих в эти критерии, автором было проведено большое количество экспериментов с различными комбинациями характеристик поперечного и путевого каналов управления, а также характеристик загрузки педалей. Результаты расчетов по критерию и экспериментальные данные показали, что оптимальная чувствительность путевого управления зависит главным образом от динамических характеристик путевого канала.

В четвертой главе разрабатывается *критерий* для выбора оптимальной величины $\tilde{M}_{X_{\text{экв}}}^{\beta}$, определяющей взаимосвязь движений крена и рыскания при управлении педалями. Показано, что для каждой комбинации характеристик поперечной устойчивости и управляемости существует такая величина $\tilde{M}_{X_{\text{экв}}}^{\beta}$ при которой управляемость самолёта наилучшая. При оптимальном значении $\tilde{M}_{X_{\text{экв}}}^{\beta}$ обеспечивается наилучшая гармония между управлением педалями и штурвалом, при этом, при минимизации бокового отклонения от оси ВПП управлением рулём направления развивается хорошо контролируемая угловая скорость крена, управление которой позволяет ускорять или замедлять движение самолёта к оси ВПП.

На основании полученных автором обширных экспериментальных данных при разработке критерия выбора оптимальной величины $\tilde{M}_{X_{\text{экв}}}^{\beta}$ выбирается такое значение $\tilde{M}_{X_{\text{экв. опт}}}^{\beta}$, при котором значение амплитудно-частотной характеристики самолёта «боковое ускорение – скольжение» на определённой частоте ω_* для любых динамических характеристик самолёта остаётся одинаковым. Этим определяется единство подхода к разработке и созданию системы критериев управляемости в поперечном и поперечном каналах управления.

В пятой главе продемонстрирована эффективность разработанных критериев применительно к самолету МС-21-300 и показаны пути реализации оптимальных величин чувствительности путевого управления и параметров системы управления с

учетом их взаимозависимости. Показано, что наилучшие характеристики управляемости имеют место при выполнении следующих основных условий:

- достигается достаточно быстрая (на границе резкой реакции) реакция самолёта на отклонение педалей,
- отсутствует резкая реакция (РР),
- в переходных процессах на отклонение педалей нет перерегулирования или перерегулирование составляет не более 10-20% (обеспечивается компромисс между максимальным быстродействием и перерегулированием);
- оптимальные характеристики путевой управляемости обеспечиваются оптимальной взаимосвязью движения крена и рыскания, определяемой степенью поперечной статической устойчивости (выбор оптимальной величины $\tilde{M}_{X \text{ экв. опт.}}^\beta$).

В заключении представлены результаты и выводы по диссертационной работе.

В приложении А приведены характеристики математической модели самолета, используемой при проведении экспериментов; в **приложении Б** дано обоснование критерия резкой реакции самолета в путевом канале управления.

Автореферат отражает основное содержание диссертации и содержит необходимые сведения для оценки научной новизны и практической значимости результатов исследований, выполненных автором.

Замечания по диссертационной работе

К недостаткам, выявленным при изучении диссертации, следует отнести:

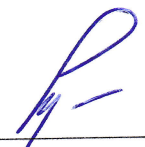
1. При определении оптимальных величин чувствительности управления и других характеристик управляемости используются в основном оценки летчиков, мало внимания уделяется объективным показателям качества пилотирования;
2. В материалах диссертации недостаточно полно раскрыто влияние изменения запаса флюгерной устойчивости на характеристики боковой управляемости;

3. Нет четкого определения словосочетания «оптимальная величина»; в работе оно используется для определения как вычисленного по минимуму функционала значения параметра, так и для выбранной летчиками величины этого параметра.

В целом, несмотря на отмеченные недостатки, представленная для оппонирования диссертация выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу.

По объёму выполненных исследований, актуальности, научной новизне и практической значимости диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о присуждении учёных степеней», а её автор Десятник Павел Анатольевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.5.16 – Динамика, баллистика и управление движением летательных аппаратов.

Официальный оппонент,
доктор технических наук,
начальник отдела № 901 ПАО «МИЭА»


_____ А.В. Гребёнкин

« 08 » _____ 11 _____ 2021 г.

Публичное акционерное общество «Московский институт электромеханики и автоматики»

Адрес: 125167, город Москва, Авиационный переулоч, 5

Тел.: +7 (499) 152-48-74

e-mail: inbox@aomiea.ru

Официальный сайт: <https://miea.kret.com/>

Подпись Гребёнкина Александра Витальевича удостоверяю

Учёный секретарь диссертационного совета
ДСО 999.023.03 ПАО «МИЭА», к.т.н.

Кербер О.Б.

_____ (должность)


_____ (подпись)

_____ (Фамилия И.О.)

