

УДК 629.735.45.015

Новый вертолетный пилотажный стенд ЦАГИ ВПС-5

Борисов Е.А.*, Леонтьев В.А.*, Рубинштейн М.А.*, Русаков И.В.*

*Центральный аэродинамический институт имени профессора Н.Е. Жуковского,
ул. Жуковского, 1, Жуковский, Московская область, 140180, Россия,*

**spintest@tsagi.ru*

Аннотация

Приведено описание нового вертолетного пилотажного стенда ВПС-5 ФГУП "ЦАГИ". Стенд имеет неподвижную одноместную кабину вертолетного типа, сферическую проекционную систему визуализации и оснащен цифровой электромеханической четырехканальной системой имитации усилий на рычагах управления.

Ключевые слова: пилотажный стенд, системой имитации усилий, сферический экран.

1. Краткое описание пилотажного стенда

В последнее время существенное расширение круга задач, для решения которых используются исследовательские пилотажные стенды, привело к увеличению интереса как к модернизации существующих стендов [1], [2], [3], [4], так и к созданию новых [5].

Рост вычислительных мощностей пилотажных стендов позволил помимо решения традиционных задач [6], [7], исследовать такие задачи как, например, посадки вертолета на корабль [8], [9], [10]. Расширение круга задач потребовало увеличение возможностей программно-математических моделей динамики движения вертолетов в плане повышения точности моделирования движения, включая режимы, выходящие за рамки летных ограничений [11], [12], [13], [14], [15], [16], **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**. Одновременно возросли требования к валидации моделей [178] и необходимости снижения запаздывания в контуре управления стендом [19].

С целью расширения экспериментальной базы в области исследования задач динамики полета вертолетов в ФГУП "ЦАГИ" введен в рабочую эксплуатацию новый вертолетный пилотажный стенд ВПС-5.

Стенд имеет неподвижную одноместную кабину вертолетного типа, в тыльной части которой размещено рабочее место инженера-экспериментатора (РМИ) [20].



Рисунок 1

Имитатор визуальной обстановки (ИВО) проекционного типа, восьмиканальный, со сферическим экраном радиусом 3м и программным обеспечением генерации изображения "Аврора-1". С места пилота ИВО обеспечивает непрерывное поле обзора с углами в горизонтальной плоскости 200° , в вертикальной плоскости – вниз 60° и вверх 50° и возможностью обзора нижней боковой полусферы. Последнее чрезвычайно важно при моделировании аварийных посадок и взлетно-посадочных режимов с площадок ограниченных размеров.

Рабочее место пилота оснащено натурными рычагами управления вертолета типа Ми-8МТВ, тремя сенсорными мониторами для имитации приборного оборудования, многофункциональных индикаторов (МФИ) и различных пультов управления. Обеспечена возможность установки боковой ручки управления. На РМИ установлено четыре сенсорных монитора.

Многомашинный вычислительный комплекс пилотажного стенда состоит из двенадцати персональных компьютеров, работающих под управлением ОС Windows 7 и объединенных в локальную сеть.

2. Основные особенности пилотажного стенда ВПС-5

В отличие от существующих отечественных вертолетных пилотажных стендов [2], [3] стенд ВПС-5 обладает двумя ключевыми особенностями, переводящими экспериментальную базу на качественно новый уровень.

Первая особенность стенда - он оснащен четырехканальной системой имитации усилий на рычагах управления фирмы Moog Inc.. В соответствии с реализованным принципом имитации усилий (рисунки 2,3) сила от пилота противодействует силе, создаваемой сервоприводом, на который поступает управляющий сигнал с контроллера, имеющего обратную связь по усилию, положению и скорости перемещения вала сервопривода. В системе используются сервоприводы типа HD100, которые представляют собой высокомоментные безредукторные шаговые электродвигатели с цифровым управлением. Сервоприводы установлены в каналах продольного, поперечного, путевого управления и канале управления высотой, имеют максимальную скорость поворота оси 600 град/сек и обеспечивают создание на своей оси постоянного момента 100 Н·м и пикового 240 Н·м.

Вычисление требуемых усилий в каждом канале производится в вычислителе реального времени. Модель требуемых усилий может быть получена одним из двух

способов. Первый способ заключается в изменении значений параметров обобщённой модели усилий, которая входит в комплект поставки сервоприводов. Если возможностей обобщённой модели не хватает, то применяется второй способ – программирование модели в среде Matlab/Simulink с использованием программного интерфейса системы. Сочетание технических характеристик сервоприводов и возможностей программирования обеспечивает возможность имитации усилий на рычагах существующих и перспективных вертолетов с различными системами автоматического управления.

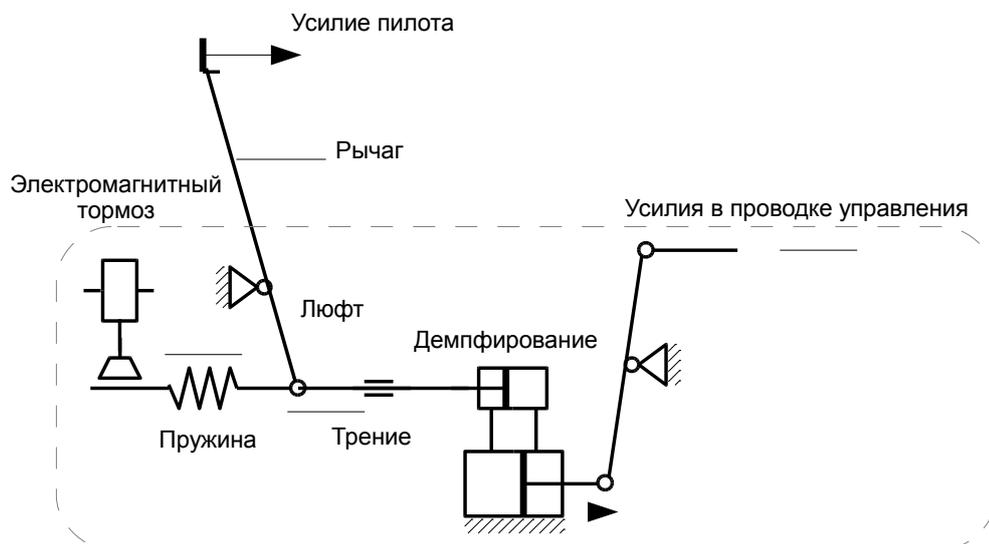


Рис.2 – Схема проводки управления на вертолётe (один канал)

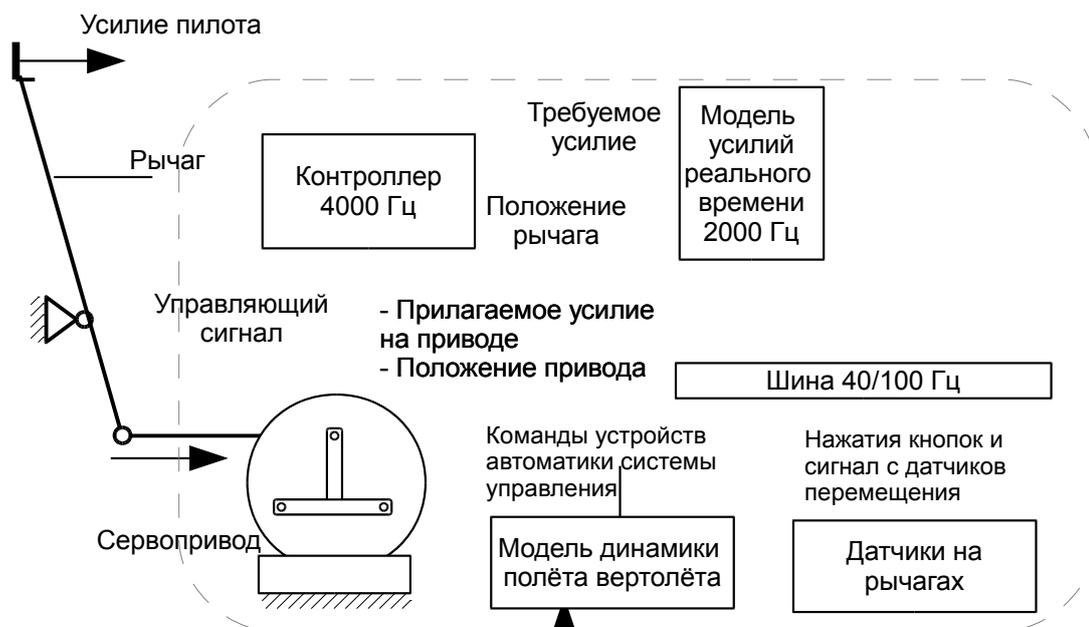


Рис.3 – Схема моделирования усилий электромеханической системой имитации

Второй ключевой особенностью является то, что стенд ВПС-5 и существующий стенд ВПС-4 могут работать и взаимодействовать в едином виртуальном пространстве.

В состав программного обеспечения (ПО) ВПС-5 входит ряд компонентов, расширяющих спектр задач, которые можно решать на этом стенде.

Во-первых, это редактор цифровых приборов и пультов MFD Editor, позволяющий создавать виртуальные приборы и пульты управления для отображения их на сенсорных мониторах на рабочем месте пилота.

Во-вторых, это база данных различных подвижных и неподвижных объектов сцены. К ним относятся морские буровые платформы, авианесущие корабли различного типа, воздушные и наземные объекты. Имитация движения наземных подвижных объектов осуществляется путем задания реперных точек их траекторий движения. Для воздушных объектов используется или аналогичный метод, или к

этим объектам подключаются их модели динамики полета с соответствующим управлением. Модели могут быть написаны как в среде Matlab/Simulink, так и на любом языке программирования с согласованным интерфейсом и подключаться к ПО стенда в виде динамически загружаемой библиотеки.

В-третьих, обеспечена возможность расположения на сцене области локальной погоды. В этой области задаются температура и давление воздуха и ветровые возмущения, отличные от параметров "глобальной" погоды, т.е. тех, которые заданы для всей сцены. Область "привязывается" к выбранному объекту сцены и может быть как неподвижной, например, привязана к морской платформе, так и подвижной – к авианесущему кораблю. Законы изменения параметров атмосферы в области могут быть заданы произвольным образом в соответствующей ей модели. Области локальной погоды позволяют выполнять, например, исследования с учетом спутного следа за надстройками кораблей или морской буровой платформы.

Для проведения исследований режимов взлета и посадки на авианесущие корабли обеспечена возможность задания параметров движения судна, включая параметры его бортовой и килевой качки. При этом в модель динамики полета вертолета передается необходимая информация для моделирования собственно взлета/посадки и движения вертолета по подвижной палубе.

В заключении необходимо отметить, что на стендах ВПС-4, ВПС-5 существует три различных способа подключения моделей САУ к моделям динамики полета вертолета. Первый способ это, когда модель САУ непосредственно

включается в состав модели динамики полета вертолета. Второй способ – это подключение модели САУ к ПО стенда в виде отдельной динамически подключаемой библиотеки. Третий способ – это реализация модели САУ, в среде Matlab/Simulink, работающей в реальном времени на изолированном компьютере, связанной с ПО стенда. Это позволяет осуществлять выполнение эксперимента, находясь в среде разработки модели системы управления, что существенно сокращает время подготовки эксперимента.

3. Выводы

Для решения актуальных и перспективных задач динамики полета вертолетов создан и введен в рабочую эксплуатацию новый вертолетный пилотажный стенд ВПС-5, существенно расширяющий возможности экспериментальной базы ЦАГИ в области динамики полета вертолетов.

Библиографический список

1. Алексеев В.В., Алексеева О.Т., Саморуков А.К., Фролова О.П., Орлов А.А. Пилотажный стенд для систем автоматизированного управления вертолетов // Пятый форум Российского Вертолетного общества. Сборник докладов. Москва, МАИ, 20-21 февраля 2002. С. 65 - 80.
2. Попов А., Кавалдин М., Саморуков А., Алексеева О., Алексеев В., Фролова О. Универсальный вертолетный пилотажный исследовательский стенд "Березина" // Современные технологии автоматизации. 2016. № 1. С. 52 - 58.

3. Борисов Е.А., Леонтьев В.А., Рубинштейн М.А., Емельянов Г.О., Кузьмин А.В., Носорев О.И. Создание нового вертолётного пилотажного стенда ЦАГИ // Труды VI форума Российского вертолетного общества. - М.: 2004. С. 65 - 80.
4. Flight Simulation Year in Review FY98. Aviation Systems Research, Technology, & Simulation Division, 1998, 56 p.
5. Верещагин Д.В., Верещагин Ю.О., Костин П.С., Макаров И.К., Разумаев Д.В. Пилотажный стенд маневренного самолета. - Воронеж: Изд-во ВУНЦ ВВС "ВВА", 2013. – 84 с.
6. Aeronautical Design Standard ADS 33E - Handling Qualities Requirements for Military Helicopters, United States Army Aviation and Missile Command, March 2000, 80 p.
7. Bimal L. Aponso, Dongchan Lee, Edward N. Bachelder. Evaluation of a rotorcraft autorotation training display on a commercial flight training device // AHS International 61th Annual Forum, Texas, USA, June 1-3, 2005, pp. 1080 - 1092.
8. Jared Cooper, John Schierman, Joseph F. Horn, Thanan Yomchinda, Eric P. O'Neill. Handling Qualities Evaluation of an Adaptive Disturbance Compensation System for Ship-based Rotorcraft // AHS 67th Annual Forum, Virginia, May 3-5, 2011, available at: <https://www.vtol.org/files/dmfile/modeling1.pdf>
9. Dooyong Lee. Simulation and control of a helicopter operating in a ship airwake. The Pennsylvania State University The Graduate School Department of Aerospace Engineering. Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of

Doctor of Philosophy, August 2005, 172 p, available at:
<http://www.engr.psu.edu/rcoe/theses/dooyonglee.pdf>

10. Jared Cooper, John Schierman, Joseph F. Horn, Thanan Yomchinda. Handling Qualities Evaluation of an Adaptive Disturbance Compensation System for Ship-based Rotorcraft // AHS International 67th Annual Forum, Virginia, USA, May 3-5, 2011, doi: 10.4050/JAHS.59.022007.

11. Леонтьев В.А., Аникин В.А., Новак В.Н. Универсальная программа расчета динамики полета вертолета // Труды V форума Российского вертолетного общества. - М.: 2002. С. 97 - 114.

12. Volodko A.M., Leontiev V.A., Rubinshtein M.A.. Helicopters Mathematical Models Used in Flight Simulator // 7th International Symposium. Aviation Technologies of the XXI Century: New Aircraft Concepts and Flight Simulation, 2002, Berlin, Germany, pp. 37 - 38.

13. Ивчин В.А. Современная математическая модель для исследования динамики вертолета на пилотажных стендах // Научный вестник МГТУ ГА. Аэромеханика и прочность. 2008. № 125. С.54 - 62.

14. Торопов М.Ю., Степанов С.Я. Имитационное моделирование полета вертолета на режимах вихревого кольца // Известия вузов. Авиационная техника. 2016. № 4. С. 72 - 76.

15. Кубланов М.С. Математическое моделирование задач летной эксплуатации воздушных судов на взлете и посадке. - М.: МГТУ ГА, 2013. 270 с.

16. Ефимов В.В. Математическое описание движения груза на внешней подвеске вертолета // Научный вестник МГТУ ГА. Аэромеханика и прочность. 2007. № 111. С. 121 - 128.
17. Игнаткин Ю.М., Макеев П.В., Шомов А.И. Интерференция несущего и рулевого винтов вертолета при полете со скольжением // Труды МАИ. 2015. № 82.
URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=58605>
18. Gareth D Padfield, Didier Casolaro, Mario Hamers, Marilena Pavel, German Roth. Fidelity of Helicopter Real-Time Simulation Models // AHS International 61th Annual Forum, Texas, USA, June 1-3, 2005, available at: https://www.researchgate.net/publication/224789671_Fidelity_of_Helicopter_Real-Time_Simulation_Models?ev=publicSearchHeader&_sg=6dQzXboSX4tAjxLuwOtgx53MX0I6V16W970FSsFRtT9D6FTdN3cE9YmmshZ70gg8dRJhQhjbR2SJgU.
19. Jennings S., Craig G., Swail C., Kruk R. Contrasting Effects of Control System Delay and Visual System Delay on Helicopter Pilot Performance: Preliminary Findings // AHS International 55th Annual Forum, Montreal, Canada, May 25-27, 1999.
<https://www.vtol.org/store/product/contrasting-effects-of-control-system-delay-and-visual-system-delay-on-helicopter-pilot-performance-preliminary-findings-5115.cfm>.
20. Пилотажный стенд для исследования задач динамики полета "В" (Вертолетный пилотажный стенд ВПС-5). Руководство по эксплуатации. - Санкт-Петербург: Технологии для авиации, 2012. – 123 с.