

УДК 629.735.33

Алгоритм комплексной системы управления самолета МиГ-29К/КУБ в режиме «дозаправка топливом в полете»

Д.И. Чеглаков, С.В. Орлов

Аннотация

Настоящая статья посвящена созданию алгоритма точного пилотирования маневренного самолета в режиме «Дозаправка топливом в полете» для цифровой комплексной системы управления. В работе приведены требования к выполнению этого режима, и способы их обеспечения для повышения вероятности контактирования. В работе рассмотрены математическое и полунатурное моделирование алгоритма, анализ летных испытаний, корректировка математической модели процесса контактирования самолета с самолетом-заправщиком по результатам летных испытаний. Предложенный алгоритм прошел летные испытания по программе МиГ-29К/КУБ, в ходе которых получил положительную оценку. В настоящее время алгоритм входит в состав математического и программного обеспечения комплексной системы управления для опытных и серийных самолетов МиГ-29К/КУБ.

Ключевые слова

комплексная система управления; дозаправка топливом в полете; контактирование; префильтр.

Особенности режима дозаправки топливом в полете

В настоящее время ДЗ (дозаправка топливом в воздухе) применяется только на военных и военно-транспортных машинах. Она позволяет существенно продлить время пребывания в воздухе и в некоторых случаях обеспечить самолёту неограниченную дальность полёта. Поэтому этот режим полета является важным как для пилотируемых, так и

для беспилотных летательных аппаратов [1 - 3]. Существует несколько методов ДЗ [1], но в данной статье рассматривается принятый в России метод штанга-конус.

Хотя первые опыты по дозаправке топливом в воздухе осуществлялись с 1920-х годов, а ее систематическое использование началось с 1950-х годов, научные исследования по аэродинамическому взаимодействию двух ЛА при ДЗ начались с середины 1980-х. За рубежом это было вызвано развитием авиационных тренажеров и необходимостью получить аэродинамическую модель для имитации поведения самолета при маневрировании рядом с танкером (самолетом-заправщиком) [1]. В России подобные исследования привели к появлению особых алгоритмов для систем управления, специфическому режиму, облегчающему для летчика задачу точного пилотирования.

Режим ДЗ - один из самых напряженных с точки зрения нагрузки на летчика режим точного пилотирования. Целый ряд негативных факторов и возмущений, вызванных спутным следом (вихревым полем) самолета-заправщика (см. рис. 1), действуют на заправляемый самолет при приближении к танкеру [2]: боковая сила, направленная в сторону танкера, возмущающий момент по крену, дополнительные турбулентность и ветровая составляющая;

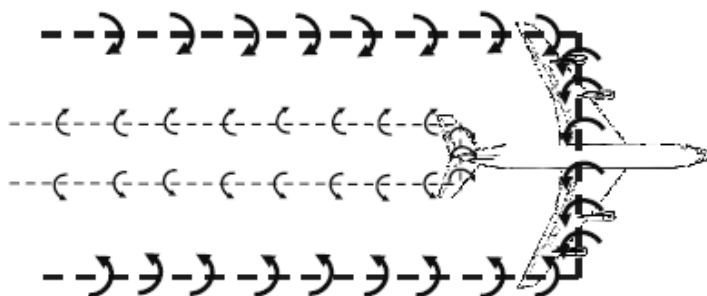


Рисунок 1. Картина вихревого поля крыла и хвостового оперения танкера.

К этим факторам следует прибавить движение конуса, которое обычно носит гармонический характер, с доминирующей первой гармоникой [4].

Описание моделирующего комплекса

Работа по отработке режима дозаправки самолета (ДЗ) в воздухе выполнялись на моделирующем комплексе, включающем в себя:

- полноразмерный стенд системы управления и гидрогазовых систем самолета МиГ-29К/КУБ. Кабина стенда в части органов управления, многофункциональных индикаторов, пультов и переключателей, относящихся к системам КСУ (комплексная система управления), СОС (система ограничивающих сигналов) и гидросистеме полностью соответствовала самолетной;

- комплекты КСУ и СОС полностью соответствующие установленным на борту;
- вычислительный комплекс, обеспечивающий реализацию математической модели динамики движения самолета, визуализацию закабинного пространства на всех этапах полета от взлета до посадки при аэродромном и корабельном базировании. В первой кабине стенда на трех МФИ и информационно подобной модели ИКШ выводится вся необходимая пилотажно-навигационная информация, вид и представление которой соответствует самолетной.

Система имитации визуальной обстановки позволяет отрабатывать режим дозаправки самолета в воздухе. Для этого предназначена визуализационная модель самолета-заправщика Ил-78, а также визуальная модель штанги дозаправки. Обеспечивается имитация разных условий видимости (день-ночь).

При проведении моделирования производилось задание:

- различных скоростей и режимов полета самолета-заправщика (горизонтальный полет, разворот с заданным креном, изменение высоты с заданной скоростью);
- движения и колебаний конуса, возмущения от самолета-заправщика.

Математическая модель включала в себя процесс сцепки, совместного движения и расцепки заправочной штанги с конусом.

Первоначальные варианты алгоритма дозаправки самолета МИГ-29К(КУБ)

Первоначальный вариант алгоритма режима дозаправки КСУ самолета МИГ-29К(КУБ) идеологически полностью соответствовал алгоритмам самолетов МИГ-29СМТ и МИГ-29Б. Однако уже в ходе стендовой отработки выяснилось недостаточное использование возможностей новой КСУ в данном режиме.

Так как дозаправка в воздухе – это режим точного пилотирования, то естественным является желание избавить летчика от перебалансировки при изменении передаточного числа по ручке. Для этого был разработан алгоритм динамических "подпоров". В соответствии с этим алгоритмом по команде «Штанга Выпущена» запоминаются значение стабилизатора и положение РУС (ручки управления самолетом) по тангажу. В дальнейшем эти значения используются в качестве «нулевых» значений РУС и стабилизатора. В таком варианте алгоритм был реализован в программном обеспечении КСУ и проверен в ходе летных испытаний.

Результаты летных испытаний

В апреле и мае 2009 выполнялись испытательные полеты с дозаправкой в воздухе на самолетах №101 и №111, а также тренировочные полеты индийских летчиков.

В процессе дозаправки были выявлены следующие особенности поведения самолета и системы управления:

1. Спутный след от самолета-заправщика вызывает кренение самолета при подходе в зону конуса, что приводит к необходимости дополнительного триммирования РУС по крену.
2. Из-за особенности характеристики K_x (в результате действия спутного следа от самолета-заправщика) балансирующее положение РУС по крену находится в зоне перелома градиента (16 мм). Это воспринимается летчиком как дополнительное возмущение в процессе контактирования.
3. При контактировании с конусом на этапе стыковки выявлено влияние потока сходящего с конуса на датчик угла атаки. Это эффект вызывает отклонение стабилизатора, что приводит к изменению траектории движения самолета, которое летчику приходится парировать. Также возможен отказ датчиков угла атаки по рассогласованию.
4. Отмеченное в п.3 возмущение воспринималось летчиками как уход конуса вниз при подходе к нему.
5. Если скорость самолета относительно самолета-заправщика больше рекомендуемой, то происходит самопроизвольный уход конуса от штанги.

Доработка математической модели самолета МиГ-29К/КУБ по результатам летных испытаний

По результатам обработки данных летных испытаний в математической модели были учтены эффекты взаимовлияния в процессе контактирования согласно п. 3-5 (см. далее):

- Паразитное отклонения одного датчика угла атаки при подходе к конусу;
- «Уход» конуса при большой скорости сближения самолета и самолета-заправщика.

По оценкам летного состава, выполнявшего полеты с дозаправкой на самолетах МиГ-29К/КУБ и на ПРСУ (полноразмерном стенде системы управления) самолета МиГ-29К/КУБ, имитация реальных условий полета выполнена достаточно хорошо.

Эти дополнения к математической модели самолета позволили разработать и отладить уточненные алгоритмы дозаправки для самолета МиГ-29К/КУБ.

Изменения алгоритма КСУ-941(941УБ) в режиме ДЗ

По результатам летных испытаний алгоритм был серьезно доработан, что позволило избавиться от всех недостатков полученных в результате летных испытаний. При выпуске

штанги дозаправки происходит перестройка алгоритмов управления в продольном и боковом каналах управления:

Изменения в продольном канале:

1. Увеличение градиентов по РУС (исключается необходимость изменять балансировочное положение РУС из-за изменения градиента) - увеличивает точность управления в канале тангажа.
2. Изменения выходного коэффициента в префилт্রে РУС. Это позволяет увеличить чувствительность самолета к отклонению РУС в продольном канале.
3. В канале демпфирования угловой скорости тангажа увеличивается передаточное число. Это улучшает демпфирование угловой скорости тангажа в режиме ДЗ.
4. Включение позиционной обратной связи по угловой скорости тангажа вместо изодрома. Это улучшает демпфирование угловой скорости тангажа в режиме ДЗ.
5. Увеличение позиционной обратной связи по нормальной перегрузке в режиме ДЗ. Это компенсирует отключение обратной связи по углу атаки.
6. Отключение обратной связи по углу атаки.

Изменения в боковом канале:

1. Уменьшение коэффициента в цепи педалей в руль направления (исключается необходимость изменять балансировочное положение педалей из-за изменения коэффициента) - увеличивает точность управления в канале курса.
2. Уменьшение коэффициента передачи РУС по крену - увеличивает точность управления в канале крена.
3. Включение позиционной обратной связи по сумме угловой скорости крена и курса вместо изодрома – увеличивает демпфирование.
4. Отключение сигнал дифференциального отклонения стабилизатора.

При включении режима ДЗ происходит перестройка алгоритмов управления в продольном и боковом каналах управления:

Изменения в продольном канале:

1. Включение обратной связи по углу тангажа.

Изменения в боковом канале:

1. Включение позиционного управления по углу крена. Для обеспечения позиционного управления введен интегральный закон по крену.

Алгоритм управления обеспечивает безударный переход на увеличенный градиент по ручке по команде «Штанга выпущена». Увеличенные градиенты в продольном и боковом каналах обеспечивают повышение точности управления при подходе к конусу.

Структура алгоритма в продольном канале представлена на рисунке 2, в боковом канале – на рисунке 3.

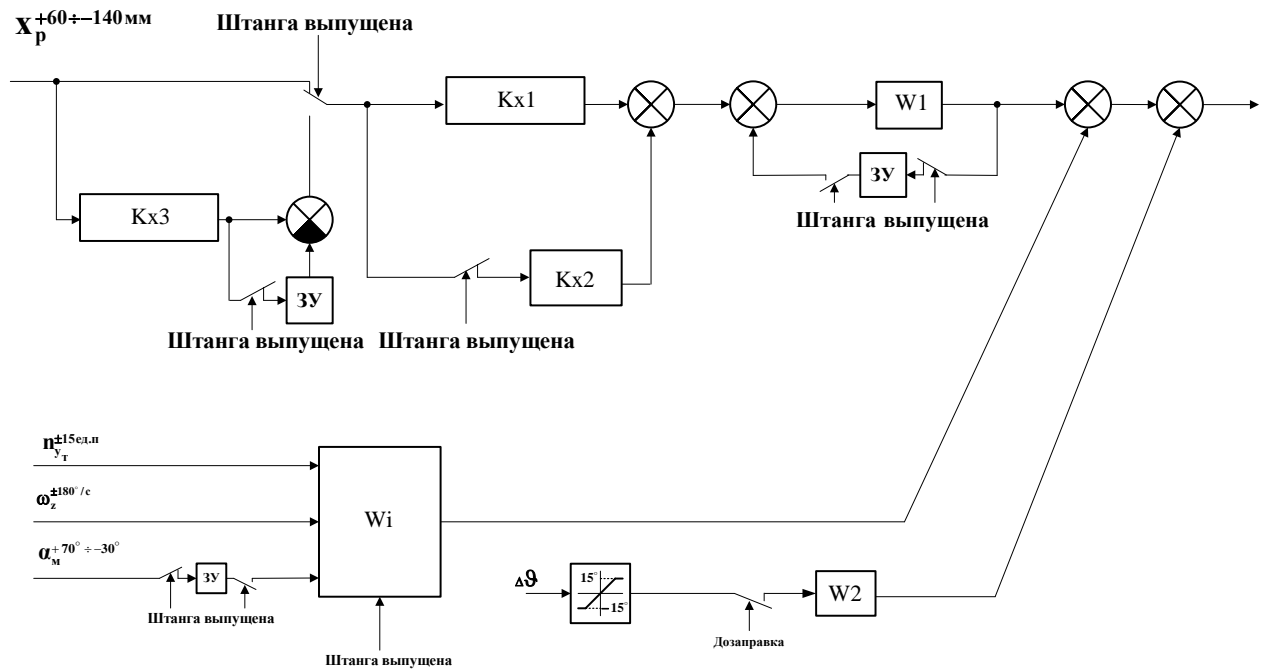


Рисунок 2

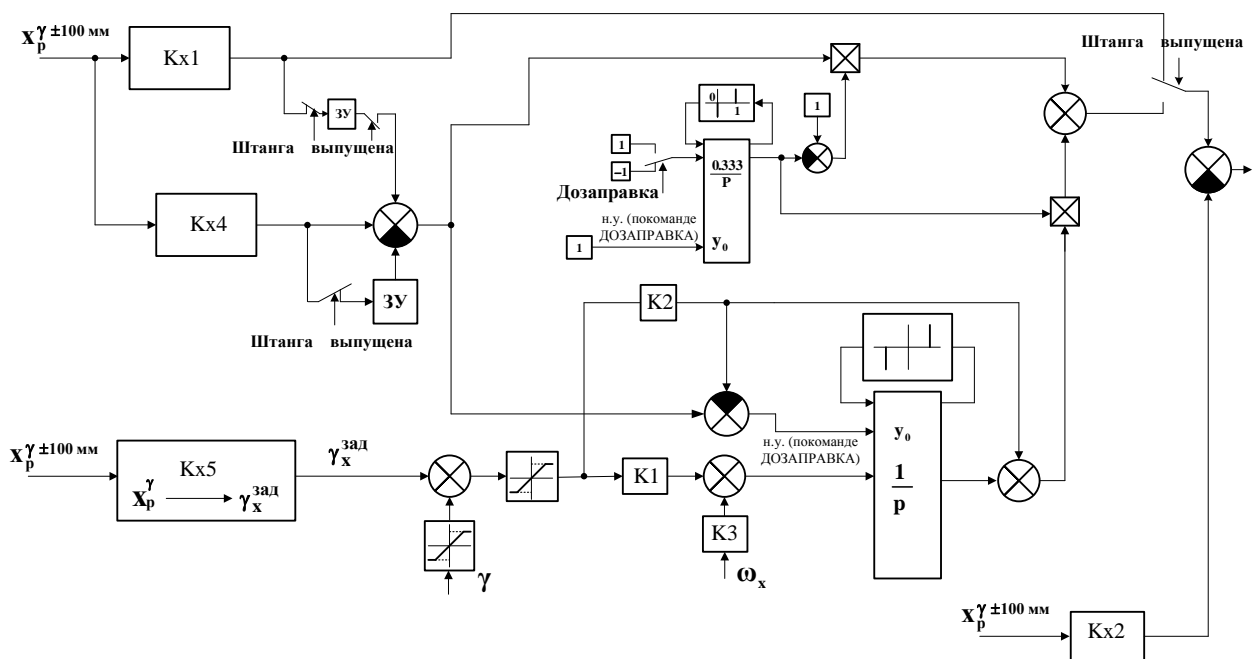


Рисунок 3

Результаты моделирования и летных испытаний

Для проверки алгоритма проводилось полунатурное моделирование на ПРСУ самолета МиГ-29К/КУБ с участием летчиков.

Летчиками производился процесс стыковки с самолетом-заправщиком в следующих режимах:

- горизонтального полета на скоростях 400-600 км/ч и высотах 500-8000м;
- развороте с креном до 15 градусов;
- маневрирование с вертикальной скоростью до ± 15 м/с;
- с колебаниями и движением конуса;
- ночная дозаправка;
- со спутной струей от самолета-заправщика.

Результаты полунатурного моделирования с участием летчиков (Власов П.Н., Беляев М.А. и др.) подтвердили, что КСУ-941(941УБ) в режиме ДЗ обеспечивает процесс подхода к конусу с последующим контактированием. Все летчики отметили значительное улучшение управляемости самолета в режиме ДЗ, упрощения процесса контактирования.

Повторные летные испытания на самолете МиГ-29К/КУБ подтвердили результаты математического и полунатурного моделирования. Управляемость самолета в режиме ДЗ значительно улучшилась. Влияние внешних возмущающих факторов было сведено к минимуму. Летчики особенно отметили комфортность управления самолетом при подходе к конусу.

Преимущества алгоритма

По сравнению с алгоритмами дозаправки топлива в воздухе, ранее использовавшимися на самолетах МиГ и других отечественных самолетах, новый имеет целый ряд преимуществ. В боковом канале управления алгоритм обеспечивает:

1. Автоматическую компенсацию:
 - 1.1. ветровых возмущений;
 - 1.2. момента по крену от несимметричных подвесок;
 - 1.3. спутного следа от самолета-заправщика;
2. Позиционное управление по крену в диапазоне $\pm 35^\circ$;
3. Развязанное управление по крену и углу рысканья;
4. Подключение алгоритма без перебалансировки.

Ранее летчику приходилось самому компенсировать эти возмущения, отклоняя ручку по крену.

В продольном канале управления алгоритм обеспечивает [2]:

- Позиционное управления для угла тангажа $\pm 15^\circ$;
- Подключение алгоритма без перебалансировки;

– Компенсацию возмущений.

Благодаря эффективной компенсации возмущений в боковом канале при подходе к конусу летчик может полностью сосредоточиться на управлении в продольном канале, что значительно облегчает процесс стыковки.

Особенно следует отметить, что в новом алгоритме режима дозаправки топливом в воздухе впервые на серийном самолете МиГ применен интегральный закон ручного управления. Хотя в данном алгоритме он использован только для бокового канала, тем не менее это является большим шагом вперед. Несомненно, что в дальнейшем интегральные законы найдут широкое применение в алгоритмах ручного управления самолетов МиГ [5].

Выводы

Таким образом, в ходе разработки алгоритма для ручного управления в режиме ДЗ был получен не только практический результат, но и углубленные знания о динамике движения самолета вблизи танкера, создана методическая основа для дальнейших исследований и разработки автоматического управления ЛА в режиме ДЗ.

В ходе дальнейших исследований автор планирует составить более подробные модели движение конуса [4] и динамики движения ЛА вблизи танкера, разработать алгоритм автоматической ДЗ, который был бы применим как для пилотируемых, так и беспилотных ЛА. Вся элементная база для этого существует [1, 3]. Остается открытым вопрос обеспечения требуемых характеристик управляемости ЛА и отказобезопасности системы управления, который слабо освещен в имеющихся работах [1].

Библиографический список

1. Mao W., Eke F.O., A survey of the dynamics and control of aircraft during aerial refueling, *Nonlinear Dynamics and system theory*, 8 (4) 2008, p. 375-388.
2. Dogan A., Lewis T., W. Blake, Flight Data Analysis and Simulation of Wind Effects During Aerial Refueling, *Journal of Aircraft*, Vol. 4, №5, p. 2036-2048
3. Fault tolerant SAMI for vision-based probe and drogue autonomous aerial refueling, Marwaha M., Valasek J., Narang A., AIAA airspace conference, 6-9 April 2009.
4. Ярошевский В.А., Методика моделирования движения шланга с заправочным конусом в процессе дозаправки самолета в воздухе, *Ученые записки ЦАГИ -2003.*, Т XXXIV, №3-4.
5. «Управление полетом маневренных самолетов», Ю.Г. Оболенский, М., филиал Воениздат, 2007г., 480с.

Сведения об авторах

Чеглаков Дмитрий Иванович, инженер 1 категории ИЦ «ОКБ им. А.И. Микояна»
ОАО «РСК»МиГ».

Ленинградское ш. 6, Москва, 125171;

тел. +7 905 559-99-95; e-mail: Dimacheglakov@mail.ru

Орлов Сергей Владимирович, ведущий инженер ИЦ «ОКБ им. А.И. Микояна»
ОАО «РСК»МиГ».

Ленинградское ш. 6, Москва, 125171;

тел. +7 499 263-26-03;