

Научная статья
УДК 629.7.02
DOI: 10.34759/vst-2022-1-27-35

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ СТАРТА МАЛОГАБАРИТНОГО БЕСПИЛОТНОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА МЕТОДОМ СВОБОДНОГО СБРОСА

Дмитрий Александрович Дуняшев¹ ✉, Андрей Александрович Голдовский²,
Михаил Натанович Правидло³

^{1,2,3}Машиностроительное конструкторское бюро «Вымпел» им. И.И. Торопова,
Москва, Россия
¹ddacraft503@gmail.com ✉

Аннотация. Проводится анализ динамики старта малогабаритного беспилотного летательного аппарата методом свободного сброса. Была построена численная модель расчета динамики груза на начальном участке его полета. Дан анализ результатов исследования свободного сброса груза на различных режимах полета носителя. Предлагается стабилизировать груз на начальном участке с помощью дополнительных газодинамических устройств. В качестве объекта исследований выступает модель теоретического груза на удерживающем устройстве.

Ключевые слова: беспилотные летательные аппараты (БПЛА), стабилизация, малогабаритный груз, свободный сброс, численное моделирование, Euler, SimInTech

Для цитирования: Дуняшев Д.А., Голдовский А.А., Правидло М.Н. Проблемы проектирования системы старта малогабаритного беспилотного летательного аппарата методом свободного сброса // Вестник Московского авиационного института. 2022. Т. 29. № 1. С. 27-35. DOI: 10.34759/vst-2022-1-27-35

Original article

DESIGN PROBLEMS OF A SMALL-SIZE UNMANNED AERIAL VEHICLE LAUNCHING SYSTEM BY FREE FALL METHOD

Dmitrii A. Duniyashev¹ ✉, Andrei A. Goldovskii², Mikhail N. Pravidlo³

^{1,2,3}Toropov Machine-Building Design Bureau “Vimpel”,
Moscow, Russia
¹ddacraft503@gmail.com ✉

Abstract

The presented article deals with studying the possibility of applying the free fall launching method of a small-size UAV for application from the UAV-carrier. This task is up-to-date since the possibility of the UAV application in air operations depends on its solution.

The research is being conducted by a binding of two programs, namely Euler and SimInTech. Euler is being used for cargo flight dynamics analyzing and displaying output values of angles and speeds. SimInTech receives the output data from Euler and applies it to computer aerodynamic and interferential forces and moments that are being transferred back to Euler.

The results of the conducted studies under various conditions revealed that, the UAV starts rotating rapidly while free falling. At the initial stage of the flight, the UAV rudders are ineffective and unable to compensate the increasing angular velocity of the cargo. This leads to the fact that on achieving the speed enough for the rudders become effective, the UAV angular speed will become so large that the stabilization system would be unable to stabilize it. The application area of the obtained results is military one.

Based on the obtained data, a proposal to employ gas-dynamic devices for the cargo stabilization at the initial segment of the flight was put forward. This method seems more feasible since of ailerons or wings installation on a small-size UAV is problematic due of its small size. Besides, in contrast to the other methods of stabilization, gas-dynamic devices do not increase the UAV weight that much, which is an important factor for aviation engineering

Keywords: unmanned aerial vehicle (UAV), stabilization, small-sized cargo, free-fall discharge, numerical modeling, Euler, SimInTech

For citation: Dunyashev D.A., Goldovskii A.A., Pravidlo M.N. Design problems of a small-size unmanned aerial vehicle launching system by free fall method. *Aerospace MAI Journal*, 2022, vol. 29, no. 1, pp. 27-35. DOI: 10.34759/vst-2022-1-27-35

Введение

Прогресс в наращивании лётно-технических характеристик беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) приближает их по возможностям к самолетам при завоевании превосходства в воздухе, что вызывает необходимость проектирования малогабаритных БПЛА (МБПЛА) класса “воздух—воздух” для их применения с БПЛА-носителя [1]. Актуальность проектирования указанного класса летательных аппаратов также обусловлен тем, что современные направления в проектировании БПЛА подразумевают малые затраты на производство, что ставит под сомнение использование классических противоздушных средств [2].

Поскольку двигательные установки МБПЛА такого класса обладают повышенными энергетическими характеристиками, при их создании возникает острая необходимость решения как уже известной проблемы исключения помпажа двигателя носителя при воздействии струи и факела РДТТ МБПЛА, так и проблемы их воздействия на сам БПЛА-носитель, конструкция которого отличается повышенной уязвимостью к воздействию температурного и эрозийного

факторов струи. Также важной проблемой проектирования МБПЛА является разработка новых специальных конструктивных элементов, которые позволят создать удовлетворительные начальные условия для дальнейшего движения и стабилизации в интерференционных полях БПЛА-носителей. От решения этих проблем зависит возможность применения БПЛА-носителя в воздушных операциях [3].

Постановка задачи

Проблему возникновения помпажа двигателя и проблему разрушения элементов конструкции (например, обшивки) с точки зрения проектирования системы старта МБПЛА можно объединить в одну проблему газодинамической совместимости БПЛА-носителя и отделяемого от него МБПЛА. Решение данной проблемы представляется возможным благодаря применению систем старта, использующих или метод свободного сброса, или метод катапультирования. Однако при старте с использованием катапультирования на элементы конструкции БПЛА-носителя действует высокая нагрузка. Поэтому в связи с “облегченной” конструкцией современных

БПЛА катапультирование грузов существующими авиационными катапультными устройствами (АКУ) не представляется возможными.

Также необходимо отметить, что, вне зависимости от выбора метода старта, остаётся проблематичным обеспечение пространственной устойчивости груза по причине малых массово-инерционных характеристик малогабаритного БПЛА и при этом существенных аэродинамических нагрузок интерференционного характера.

Исходя из вышеизложенного, весьма актуально исследование возможности старта малогабаритного БПЛА методом свободного сброса.

Целью данной работы является определение основных задач и подходов к проектированию системы старта МБПЛА.

Для проведения расчетов была создана численная модель в программном обеспечении (ПО) Euler в связке с ПО SimInTech. Данная модель реализует расчет динамики отделения груза с учетом его массово-инерционных характеристик и аэродинамики, а также интерференции и скорости носителя. В качестве исходных данных взяты характеристики теоретического груза.

Численное моделирование процесса свободного сброса

Как уже было сказано, в данной работе были использованы два ПО: SimInTech и Euler. Euler

служит для расчета динамики, а SimInTech — для обработки входных и выходных параметров и подсчета математических зависимостей [4].

Первым шагом в разработке модели динамики отделения груза явилось создание геометрической модели груза в SolidWorks (рис. 1).

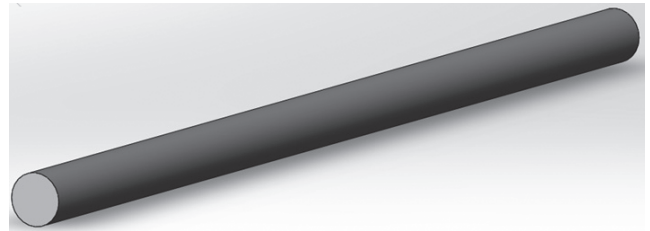


Рис. 1. Модель груза в SolidWorks

После конвертации её и переноса в Euler ей были присвоены массово-инерционные характеристики груза. Кроме того, были заданы геометрия удерживающего устройства и модель процесса сброса груза. В ПО Euler были заданы действующие на груз силы: сила тяги двигателя, собственная аэродинамика, силы интерференции носителя и гравитация [5]. Сила тяги была задана как табличная зависимость. Значения аэродинамических сил подсчитываются в SimInTech и посылаются в численную модель для расчета динамики (рис. 2).

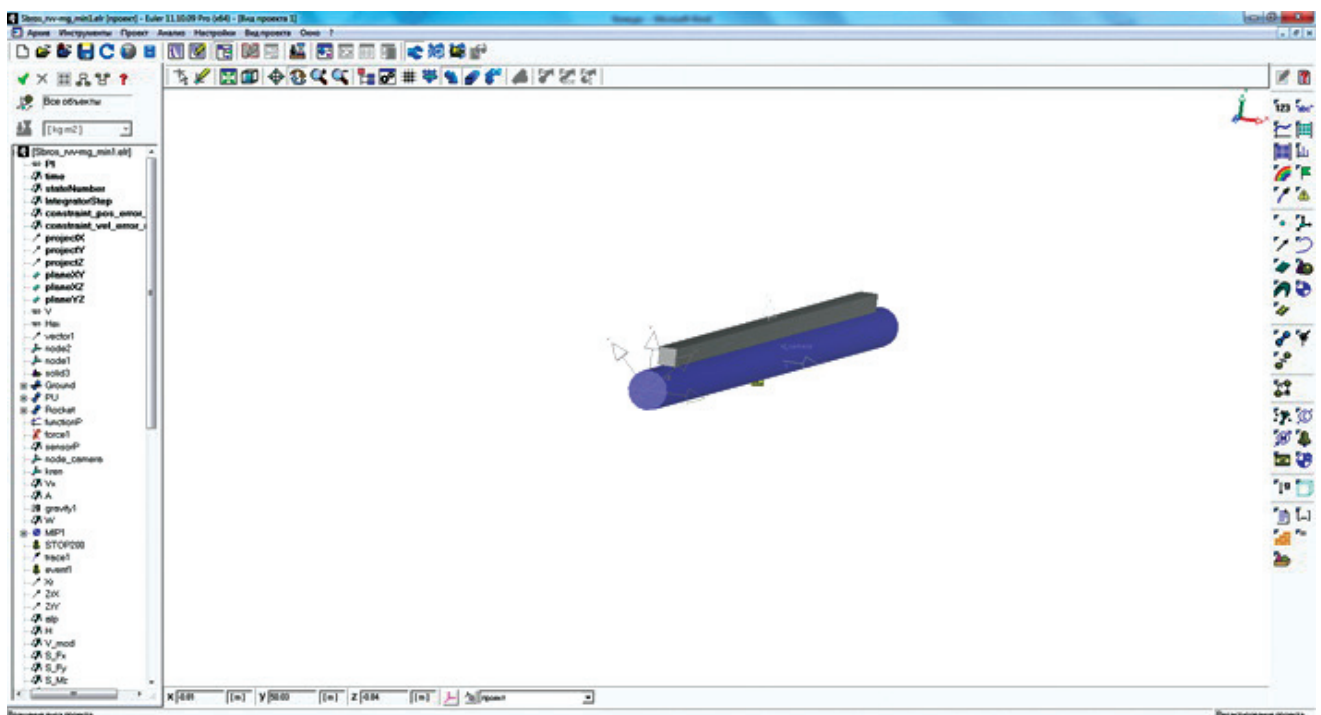


Рис. 2. Численная модель в Euler

Для анализа результатов и расчета аэродинамических коэффициентов были заданы датчики линейных и угловых скоростей, углов крена, курса и тангажа и перемещений по трем осям. Значения с датчиков передаются в модель SimInTech, где их можно наблюдать в виде графиков.

После разработки модели динамики была создана модель расчета аэродинамических характеристик в SimInTech (рис. 3). Она реализует расчет аэродинамики груза и интерференции носителя и передает значения соответствующих сил и моментов в численную модель в Euler.

Данная модель принимает значения линейных и угловых скоростей движения груза, а также его углов поворота в базовой системе координат и перемещений. Полученные значения используются для расчета числа Маха и угла атаки (рис. 4), которые подаются в блок интерполяции, осуществляющий выбор аэродинамических коэффициентов.

В зависимости от текущей высоты груза происходит интерполяция значения плотности воздуха. Для подсчета аэродинамических сил и моментов в блок расчета аэродинамики поступают значения скоростей, коэффициентов и плотности воздуха (рис. 5 и 6).

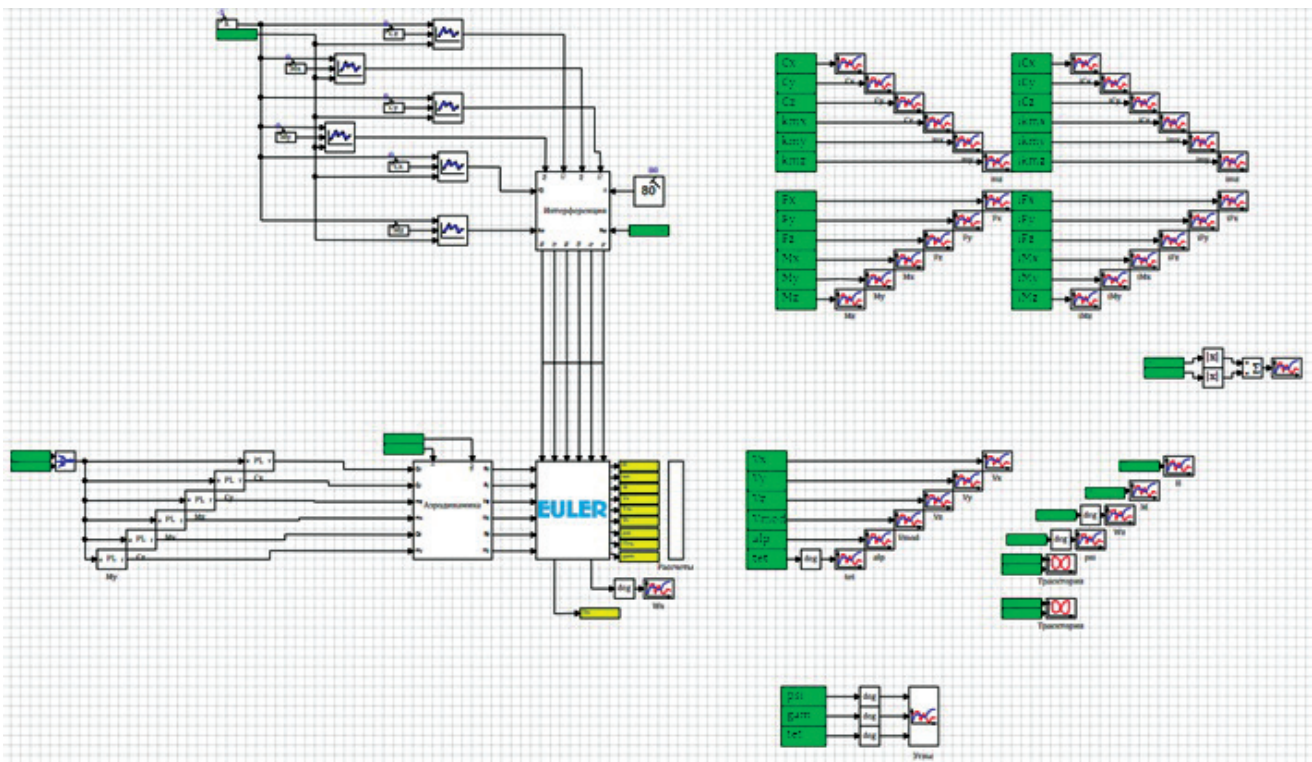


Рис. 3. Модель расчета аэродинамических характеристик в SimInTech

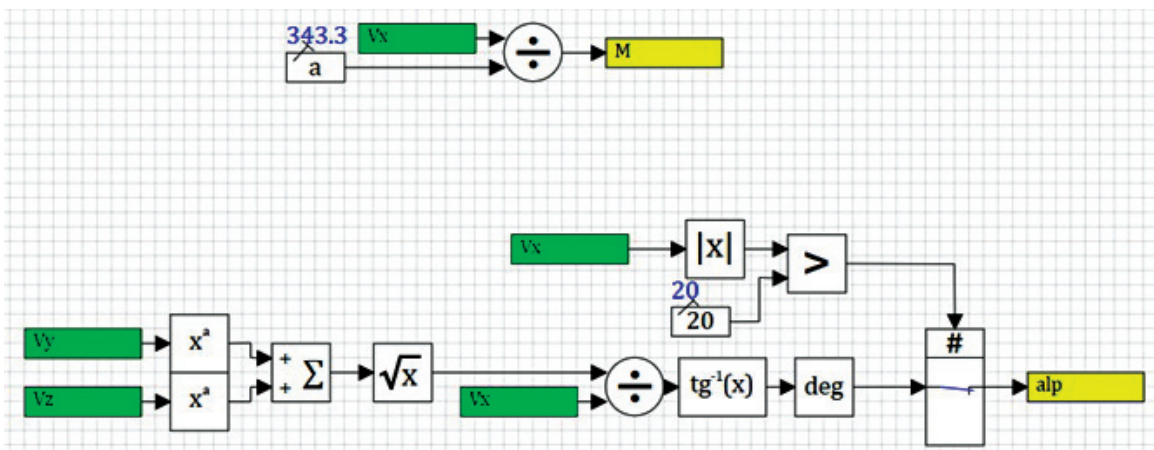


Рис. 4. Реализация подсчетов числа Маха и угла атаки груза

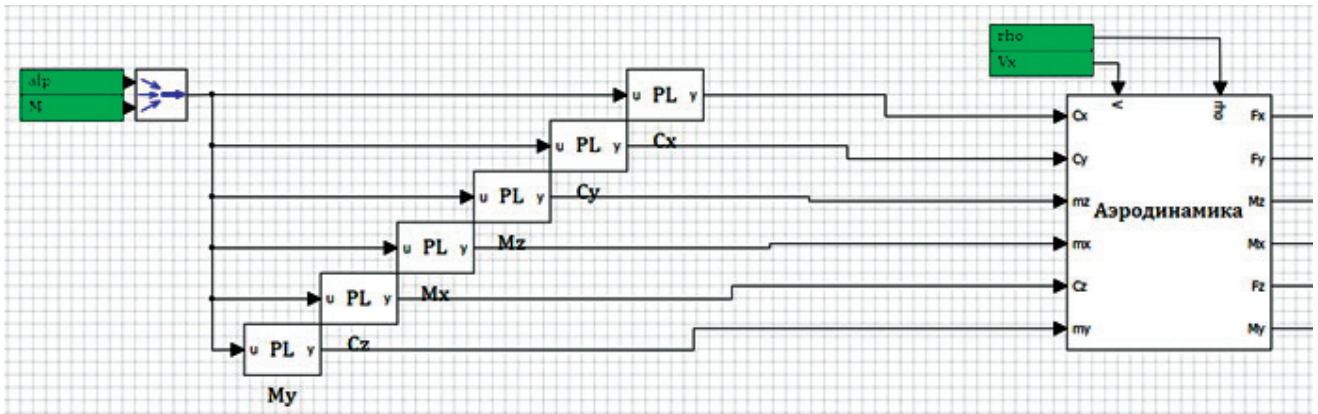


Рис. 5. Блоки интерполяции аэродинамических коэффициентов

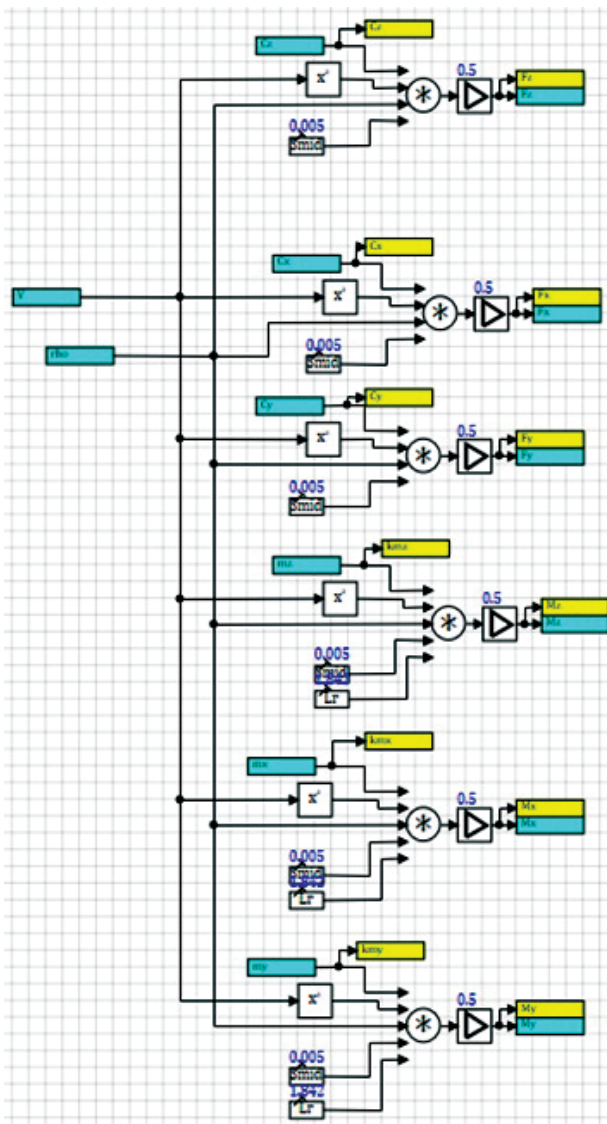


Рис. 6. Реализация расчета аэродинамических сил и моментов

При расчете интерференции носителя производится интерполяция соответствующих коэффициентов в зависимости от отдаления от носителя. При расчете интерференционных сил и моментов в качестве параметра скорости используется её постоянное значение, что оправданно по причине силу малости времени отдаления груза (рис. 7).

Полученные значения сил и моментов подаются в блок связи с ПО Euler, который передаёт их в численную модель. Для анализа результатов моделирования были созданы блоки построения графиков, принимающие значения с датчиков в модели Euler (рис. 8).

Полученная модель позволяет проводить расчет различных режимов полета. В Euler задается скорость носителя и высота полета, а в SimInTech имеется возможность включить или выключить интерференционное воздействие.

В качестве примера рассмотрим вариант сброса груза, когда носитель летит со скоростью 100 м/с на высоте 50 м (рис. 9 и 10).

Анализ результатов

Как видно из приведенных графиков, из-за малого момента инерции по оси OX груз начинает быстро вращаться по крену. Это порождает значительную проблему стабилизации груза, поскольку на малых скоростных напорах контур стабилизации не сможет стабилизировать груз из-за низкой эффективности рулей. К моменту, когда груз наберет достаточную линейную скорость и рули станут эффективными, угловая скорость груза достигнет величины, при которой рули не смогут её скомпенсировать.

При рассмотрении других режимов получается аналогичный результат. Похожая картина наблюдается также при сбросе груза с винтокрылых машин в режиме их висения (при нулевой

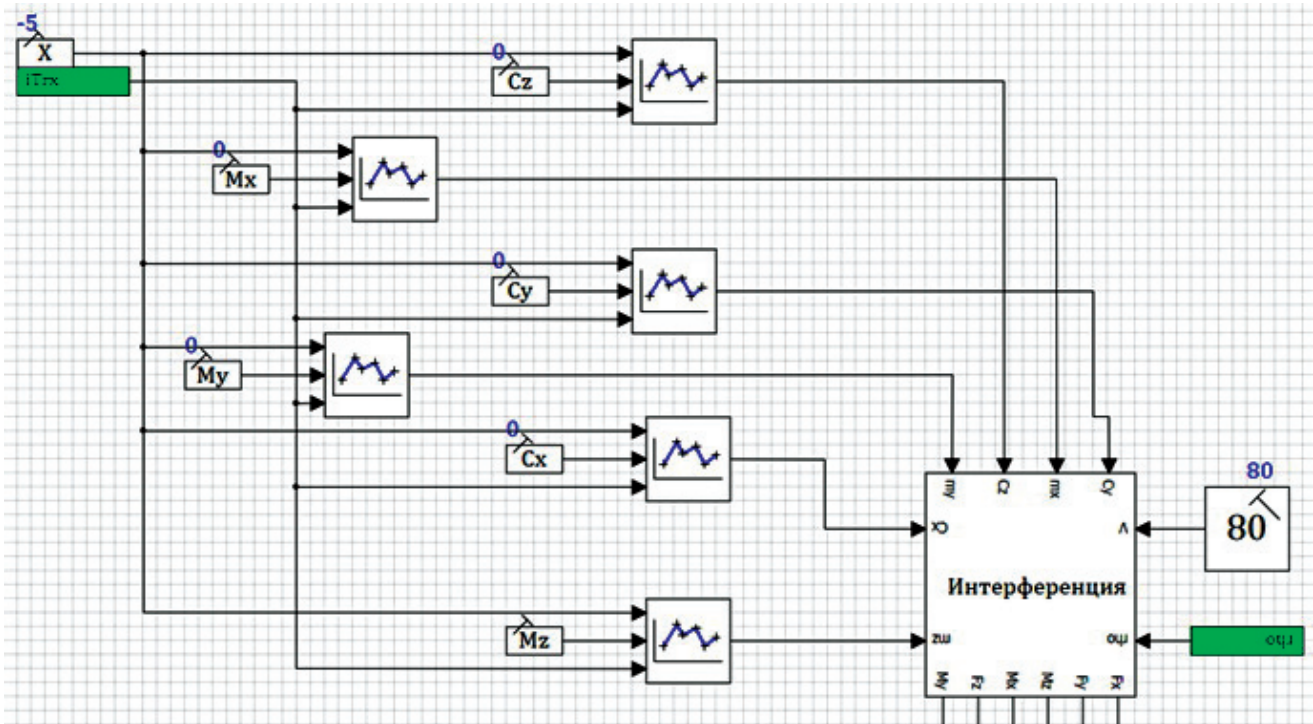


Рис. 7. Реализация расчетов интерференционных сил и моментов

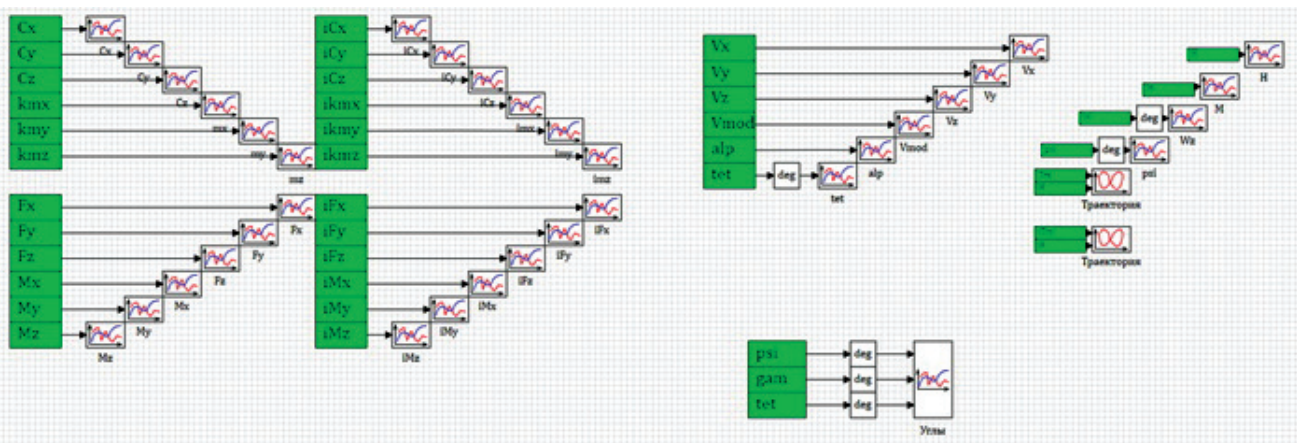


Рис. 8. Блоки вывода графиков

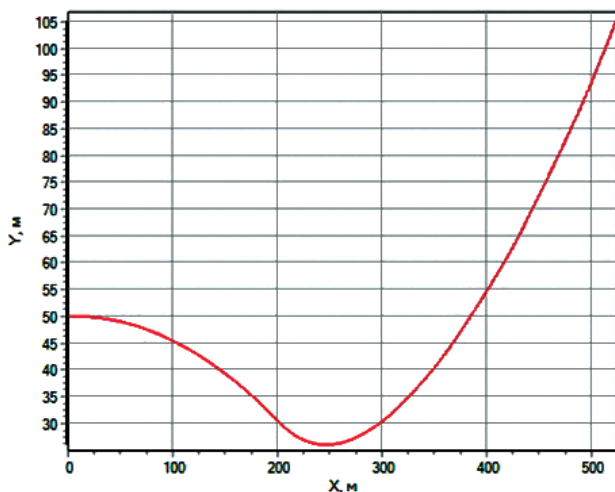


Рис. 9. График траектории груза

скорости носителя), когда влияние интерференции, порожденной потоком от винта носителя, проявляется на начальном участке траектории полета груза.

Как было отмечено ранее, при сбросе малогабаритных грузов обеспечение их стабилизации сопряжено с серьёзными трудностями. Достаточно большие углы поворота достигаются не только по крену, но и по курсу и тангажу. Чтобы парировать процессы нарастания угловой скорости груза, необходимо внести дополнительные технические изменения в его конструкцию.

Для предотвращения закручивания необходимо провести оптимизацию аэродинамики груза и установить на него дополнительные стабили-

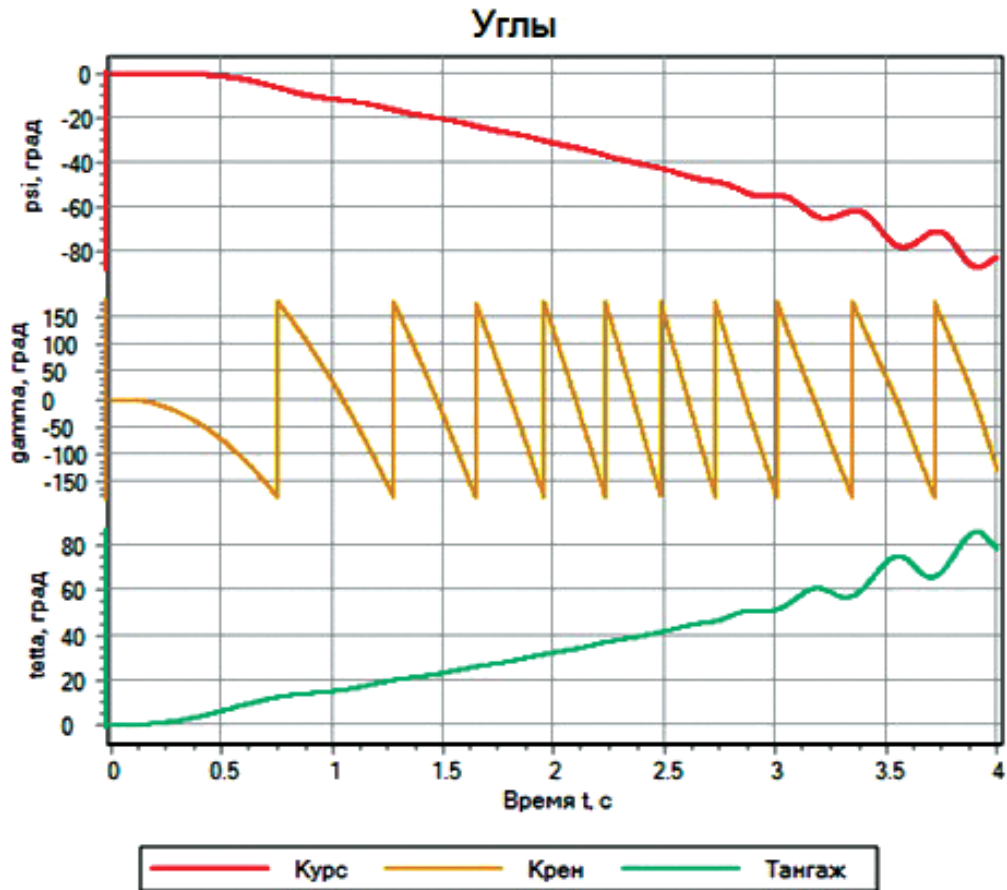


Рис. 10. Углы отклонения груза

зирующие устройства, например газодинамическое устройство (ГДУ).

Из возможных вариантов можно рассмотреть установку элеронов как механизмов управления движением по крену, однако разработка такого устройства для малогабаритного груза является проблематичной и дорогостоящей. Кроме того, установка элеронов устранил только проблему закручивания по крену, а сильное отклонение по курсу и тангажу всё ещё останется.

В качестве ещё одного способа обеспечить стабилизацию можно рассмотреть установку дополнительных аэродинамических поверхностей, таких, как крылья, однако и это имеет существенные недостатки. В сравнении с остальными конструктивными решениями оно влечет за собой значительное увеличение массы груза. Вдобавок к этому, крылья увеличивают габариты изделия, что усложняет его размещение на носителе. Для устранения проблемы увеличения массы можно рассмотреть механизм отстрела крыльев, однако это является ещё более сложной задачей из-за недостатка места в отсеках груза.

Как показали результаты специальных исследований, целесообразно использовать в составе

МБПЛА газодинамические устройства (ГДУ) для управления на начальном участке его полета, поскольку это позволит стабилизировать груз по всем каналам, притом что ГДУ не увеличивают значительно массу МБПЛА.

Выводы

1. Разработана модель расчета динамики отделения груза при его свободном сбросе, и проведены исследования на различных режимах полета БПЛА-носителя.

2. Показано, что, вследствие малого момента инерции МБПЛА, в процессе отделения его корпус достигает большой угловой скорости, что делает невозможной стабилизацию МБПЛА аэродинамическими органами управления.

3. Для решения указанной проблемы были рассмотрены различные варианты устройств, среди которых наиболее рациональным представляется внедрение устройства, обеспечивающего газодинамическое управление МБПЛА на начальном участке его полета.

Список источников

1. *Шарашков А.А.* Особенности боевого применения БЛА // *Авиационные системы*. 2013. № 10. С. 45-47.
2. *Ананьев А.В., Филатов С.В.* Обоснование нового способа совместного применения авиации и беспилотных летательных аппаратов малой дальности в операциях // *Военная мысль*. 2018. № 6. С.5-13.
3. *Петрашко О.И., Панов В.В., Анисимов А.Н.* Перспективные возможности боевого применения комплексов с БЛА тактическими подразделениями СВ, ВДВ и МП // *В мире научных открытий*. 2015. № 8(68). С. 162-174. DOI: 10.12731/wsd-2015-8-14
4. *Лященко А.И., Маслова Н.В., Вент Д.П.* Основы моделирования в SimInTech: Методическое пособие. — Новомосковск: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2018. — 42 с.
5. *Бойков В.* Программный комплекс автоматизированного динамического анализа многокомпонентных механических систем EULER // *САПР и графика*. 2000. № 9. URL: <https://sapr.ru/article/7846>
6. *Агавердыев С.В., Зиненков Ю.В., Луковников А.В.* Выбор оптимальных параметров силовой установки ударного беспилотного летательного аппарата // *Вестник Московского авиационного института*. 2020. Т. 27. № 4. С. 105-116. DOI: 10.34759/vst-2020-4-105-116
7. *Ананьев А.В., Филатов С.В., Петренко С.П., Рыбалко А.Г.* Экспериментальная апробация применения свободнопадающих неуправляемых контейнеров с использованием беспилотных летательных аппаратов ближнего действия // *Вестник Московского авиационного института*. 2019. Т. 26. № 1. С. 166-173.
8. *Фреze В.Р.* Опыт применения комплексов с беспилотными летательными аппаратами в вооруженных конфликтах // *Гуманитарные проблемы военного дела*. 2018. № 1(14). С. 106-112.
9. *Ерохин Е.И.* Малогабаритные БЛА на военной службе // *Авиационные системы*. 2013. № 10. С. 47-54.
10. *Чабанов В.А.* Управляемая авиационная бомба для малых БЛА фирмы Рейтон // *Авиационные системы*. 2011. № 7. С. 39-40.
11. *Ананьев А.В., Рыбалко А.Г., Гончаренко В.И., Клецов Р.П.* Оперативная оценка попадания в цель свободнопадающих неуправляемых контейнеров беспилотных летательных аппаратов малого класса // *Труды МАИ*. 2019. № 107. URL: <http://trudymai.ru/published.php?ID=107869>
12. *Ананьев А.В., Филатов С.В., Рыбалко А.Г.* Статистическая оценка ударных возможностей беспилотных летательных аппаратов малой дальности при решении задач пилотируемой авиации // *Известия Тульского государственного университета. Технические науки*. 2018. № 12. С. 455-458.
13. *Grant R.* Technical advances have the air force on the verge of refueling operations with no human present // *AIR Force magazine*. 2012, pp. 36-40.
14. *Kyrkou C., Timotheou S., Kolios P., Theocharides T., Panayiotou C.* Drones: Augmenting our quality of life // *IEEE Potentials*. 2019. Vol. 38. No. 1, pp. 30-36. DOI: 10.1109/MPOT.2018.2850386
15. *Chang T., Yu H.* Improving Electric Powered UAVs' Endurance by Incorporating Battery Dumping Concept // *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 99, pp. 168-179. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.522
16. *Афанасьев П.П., Голубев И.С., Новиков В.Н.* и др. Беспилотные летательные аппараты. Основы устройства и функционирования. — М.: Изд-во МАИ, 2008. — 654 с.
17. *Иванов Ю.Л.* (ред.) Беспилотные летательные аппараты. Состояние и тенденции развития. — М.: Варяг, 2004. — 175 с.
18. *Гусейнов А.Б., Трусов В.Н.* Проектирование малогабаритных летательных аппаратов. — М.: Изд-во МАИ, 2014. — 288 с.
19. *Romeo G., Frulla G., Cestino E.* Design of a high-altitude long-endurance solar-powered unmanned air vehicle for multi-payload and operations // *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part G: Journal of Aerospace Engineering*. 2007. Vol. 221. No. 2, pp. 199-216. DOI: 10.1243/09544100JAERO119
20. *Gur O., Rosen A.* Optimisation of propeller based propulsion system // *Journal of Aircraft*. 2009. Vol. 46. No. 1, pp. 95-106. DOI: 10.2514/1.36055
21. *Ricouard J., Julliard E., Omais M., Regnier V., Baralon S., Parry A.B.* Installation effects on contra-rotating open rotor noise // *16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (07-09 June 2010, Stockholm, Sweden)*. DOI: 10.2514/6.2010-3795

References

1. Sharashkov A.A. *Aviatsionnye sistemy*, 2013, no. 10, pp. 45-47.
2. Anan'ev A.V., Filatov S.V. *Voennaya mysl'*, 2018, no. 6, pp.5-13.
3. Petrashko O. I., Panov V.V., Anisimov A.N. *V mire nauchnykh otkrytii*, 2015, no. 8(68), pp. 162-174. DOI: 10.12731/wsd-2015-8-14
4. Lyashchenko A.I., Maslova N.V., Vent D.P. *Osnovy modelirovaniya v SimInTech. Metodicheskoe posobie* (Basics of modeling in SimInTech. Teaching aids), Novomoskovsk, RKhTU im. D.I. Mendeleeva, 2018, 42 p.
5. Boikov V. *SAPR i grafika*, 2000, no. 9. URL: <https://sapr.ru/article/7846>
6. Agaverdyev S.V., Zinenkov Y.V., Lukovnikov A.V. Optimal parameters selection of the strike unmanned aerial vehicle power plant. *Aerospace MAI Journal*, 2020, vol. 27, no. 4, pp. 105-116. DOI: 10.34759/vst-2020-4-105-116

7. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Petrenko S.P., Rybalko A.G. Experimental approbation of free-falling uncontrolled containers application, employing short-range unmanned aerial vehicles. *Aerospace MAI Journal*, 2019, vol. 26, no. 1, pp. 166-173.
8. Freze V.R. *Gumanitarnye problemy voennogo dela*, 2018, no. 1(14), pp. 106-112.
9. Erokhin E.I. *Aviatsionnye sistemy*, 2013, no. 10, pp. 47-54.
10. Chabanov V.A. *Aviatsionnye sistemy*, 2011, no. 7, pp. 39-40.
11. Anan'ev A.V., Rybalko A.G., Goncharenko V.I., Klevtsov R.P. *Trudy MAI*, 2019, no. 107. URL: <http://trudymai.ru/eng/published.php?ID=107869>
12. Anan'ev A.V., Filatov S.V., Rybalko A.G. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2018, no. 12, pp. 455-458.
13. Grant R. Technical advances have the air force on the verge of refueling operations with no human present. *AIR Force magazine*, 2012, pp. 36-40.
14. Kyrkou C., Timotheou S., Kolios P., Theocharides T., Panayiotou C. Drones: Augmenting our quality of life. *IEEE Potentials*, 2019, vol. 38, no. 1, pp. 30-36. DOI: 10.1109/MPOT.2018.2850386
15. Chang T., Yu H. Improving Electric Powered UAVs' Endurance by Incorporating Battery Dumping Concept. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 99, pp. 168-179. DOI: 10.1016/j.proeng.2014.12.522
16. Afanas'ev P.P., Golubev I.S., Novikov V.N. et al. *Bespilotnye letatel'nye apparaty. Osnovy ustroystva i funktsionirovaniya* (Unmanned aerial vehicles. Fundamentals of design and operation), Moscow, MAI, 2008, 654 p.
17. Ivanov Yu.L. (ed) *Bespilotnye letatel'nye apparaty. Sostoyanie i tendentsii razvitiya* (Unmanned aerial vehicles. The state and trends of development), Moscow, Varyag, 2004, 175 p.
18. Guseinov A.B., Trusov V.N. *Proektirovanie malozametnykh letatel'nykh apparatov* (Stealth aircraft designing), Moscow, MAI, 2014, 288 p.
19. Romeo G., Frulla G., Cestino E. Design of a high-altitude long-endurance solar-powered unmanned air vehicle for multi-payload and operations. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part G: Journal of Aerospace Engineering*, 2007, vol. 221, no. 2, pp. 199-216. DOI: 10.1243/09544100JAERO119
20. Gur O., Rosen A. Optimisation of propeller based propulsion system. *Journal of Aircraft*, 2009, vol. 46, no. 1, pp. 95-106. DOI: 10.2514/1.36055
21. Ricouard J., Julliard E., Omais M., Regnier V., Baralon S., Parry A.B. Installation effects on contra-rotating open rotor noise. *16th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference (07-09 June 2010, Stockholm, Sweden)*. DOI: 10.2514/6.2010-3795

Статья поступила в редакцию 30.11.2021; одобрена после рецензирования 02.12.2021; принята к публикации 06.12.2021.

The article was submitted on 30.11.2021; approved after reviewing on 02.12.2021; accepted for publication on 06.12.2021.