

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ ВЕТРА НА ТОЧНОСТЬ СБРОСА ГРУЗОВ С ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

А.С. Борейшо¹

А.В. Савин¹

А.Е. Орлов¹

С.П. Гулевич²

s.gulevich@vertex.aero

А.Г. Берг³

В.Ю. Субботин³

В.Г. Чернов³

С.А. Евхаритский³

И.В. Герилович⁴

¹ АО «Лазерные системы», Санкт-Петербург, Российская Федерация

² АО «Вертолеты России», Москва, Российская Федерация

³ АО «РПКБ», Раменское, Московская обл., Российская Федерация

⁴ АО «Кронштадт», Москва, Российская Федерация

Аннотация

Предложены методические и технические решения, направленные на повышение точности сброса грузов с летательных аппаратов за счет учета скорости ветра. Рассмотрены характеристики лидаров разных типов, которые могут обеспечить измерения скорости ветра как вблизи летательного аппарата, так и земной поверхности. Представлены результаты экспериментов по измерению профиля скорости ветра на малых высотах в районе аэродрома. Приведены результаты моделирования траектории неуправляемого груза, падающего в условиях ветра. Полученные результаты показывают, что учет скорости ветра значительно повышает точность сброса. Груз моделируется в виде сферы заданной массы с заданными аэродинамическими коэффициентами. Показано влияние на точность сброса полноты информации о распределении скорости ветра по высоте. В частности, выполнено сравнение вариантов, когда скорость ветра измеряется около летательного аппарата и вблизи земной поверхности. Приведены показатели точности сброса, полученные при моделировании

Ключевые слова

Скорость ветра, измерение скорости ветра, доплеровские лидары, ветровой снос

Поступила 05.02.2021

Принята 24.03.2021

© Автор(ы), 2022

Введение. Одной из задач, решаемых современными авиационными комплексами, является сброс неуправляемых грузов. Эта задача актуальна при поисково-спасательных и военных операциях [1, 2]. Следует отметить, что задача сброса неуправляемых грузов с самолетов и вертолетов различных поколений не теряет актуальности, несмотря на интенсивное развитие разнообразных управляемых и самоуправляемых средств. Решающую роль играют экономические соображения [3].

Важнейший фактор, вызывающий отклонение координат точки падения неуправляемого груза от заданных, — ветер, создающий так называемый ветровой снос [4]. Отсутствие информации о фактическом распределении скорости ветра на высотах от земной поверхности до высоты носителя не позволяет в полной мере устранить эту составляющую погрешности. Практически все бортовые алгоритмы и вычислители не используют информацию о вертикальном профиле скорости и направлении ветра ввиду отсутствия возможности получения таковой [5, 6].

Оценивание скорости ветра в полете по данным внешнетраекторных измерений традиционно применяют при летных испытаниях самолетов [7]. Имеются зарубежные работы по учету ветра на высоте, например [8] или [9, 10], в которых оценка скорости ветра выполнена методами идентификации систем [11]. В рамках этого в [12, 13] предложены алгоритмы оценивания ветра по измерениям углов атаки, скольжения, воздушной скорости и данным спутниковых навигационных систем. В связи с этим измерение высотного профиля ветра непосредственно перед сбросом груза и учет профиля ветра в вычислениях траектории является актуальной задачей. Скорость ветра успешно измеряют лидарами различных типов, что требует установки дополнительного оборудования на борт самолета.

В настоящей работе приведены результаты анализа погрешностей координат точки сброса, обусловленных ветровым сносом. В качестве источника детальной информации о высотном профиле вектора скорости ветра рассмотрены доплеровские лидары [14, 15]. Показано, что учет аэродинамического сноса под влиянием неоднородного ветра позволяет существенно уменьшить погрешность координат точки попадания относительно расчетной.

Доплеровские лидары как источник информации о высотном профиле скорости ветра. Существует два возможных типа доплеровских лидаров, которые могут предоставить информацию о высотном распределении вектора скорости ветра.

Непрерывные лидары с коническим сканированием и высотной перефокусировкой применяют как ветровые профилометры, в частности,

для управления взлетом и посадкой самолетов. Такие лидары, например лидарный ветровой профилометр ПЛВ-300 [14], установленные на земной поверхности вблизи взлетно-посадочной полосы (ВПП), измеряют вектор скорости движения воздуха на высотах до нескольких сотен метров, в том числе позволяют идентифицировать опасные метеоявления, такие как сдвиг ветра. Подобные системы могут быть установлены на борту носителя, однако периодичность обновления информации о ветре ограничена снизу несколькими десятками секунд, что обусловлено принципом конического сканирования и перефокусировки по высоте. Это может быть критично с позиции применения таких средств на борту. Кроме того, высокая воздушная скорость носителя, значительно превышающая типичные значения скорости ветра относительно земной поверхности, осложняет корректные измерения с борта летательного аппарата (ЛА).

Импульсные сканирующие доплеровские лидары применяют для мониторинга ветровых полей на дистанциях до нескольких десятков километров [15]; они обновляют информацию с периодом от долей секунды до нескольких секунд, что делает их более перспективными для применения с борта ЛА. Кроме того, асимметрия скорости воздуха относительно ЛА, вызванная движением носителя, в этом случае может быть скомпенсирована управлением частотой гетеродина. Эти особенности делают более перспективным применение импульсных доплеровских лидаров для мониторинга профиля ветра с борта ЛА. Пример данных о вертикальном профиле скорости ветра, полученных доплеровским импульсным сканирующим лидаром ИВЛ-5000 (рис. 1, а) [15], показан на рис. 1, б.

Использованные в дальнейшем анализе вертикальные профили скорости ветра измерены лидаром ИВЛ-5000 в течение несколько дней в середине июля в районе аэропорта Пулково (Санкт-Петербург) при следующих погодных условиях: температура воздуха на высоте двух метров 12...14 °С, относительная влажность воздуха 58...87 %, атмосферное давление 740...755 мм рт. ст., ветер умеренный 6...8 м/с с порывами до 12 м/с, горизонтальная дальность видимости 10 км и более, нижняя граница облачности 600...1380 м, облачность 60...90, 40...60, 10...30 %, без существенной облачности.

Движение неуправляемой сферы под действием неоднородного по высоте поля скорости воздуха. В качестве простейшей модели рассмотрим тело сферической формы, падающее под действием силы тяжести и аэродинамических сил, которые действуют со стороны неоднородного по высоте ветрового поля. Поступательное движение такого тела в декар-

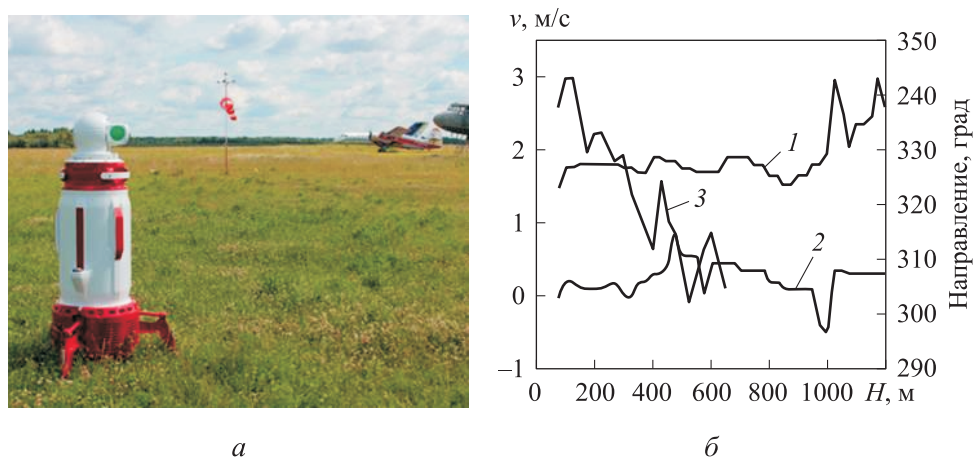


Рис. 1. Импульсный доплеровский сканирующий лидар ИВЛ-5000 [15] (а) и пример вертикального профиля скорости ветра (б):

1 — горизонтальная компонента скорости; 2 — вертикальная компонента;
3 — направление горизонтальной компоненты

товой системе координат, связанной с земной поверхностью, происходит в соответствии с уравнениями

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v_x, \quad \dot{y} = v_y, \quad \dot{z} = v_z, \\ \dot{v}_x &= \frac{F_x}{m}, \quad \dot{v}_y = \frac{F_y}{m}, \quad \dot{v}_z = \frac{F_z}{m}. \end{aligned}$$

Здесь x — горизонтальная координата, направленная вдоль скорости носителя; y — горизонтальная поперечная координата; z — вертикальная координата, направленная вверх. Выражения для управляющих сил [16, 17] имеют вид:

$$\begin{aligned} F_x &= C_x \frac{\rho v_r^2}{2} \frac{\pi D^2}{4} \frac{v_{ax} - v_x}{v_r}, \\ F_y &= C_x \frac{\rho v_r^2}{2} \frac{\pi D^2}{4} \frac{v_{ay} - v_y}{v_r}, \\ F_z &= C_x \frac{\rho v_r^2}{2} \frac{\pi D^2}{4} \frac{v_{az} - v_z}{v_r} - mg, \\ v_r &= \sqrt{(v_{ax} - v_x)^2 + (v_{ay} - v_y)^2 + (v_{az} - v_z)^2}, \end{aligned}$$

где C_x — коэффициент сопротивления сферы [16]; v_a — скорость воздуха, зависящая от вертикальной координаты; v_r — модуль относительной скорости; g — ускорение силы тяжести; m , D — масса и диаметр тела.

Результаты вычислений. *Разброс точек падения под влиянием ветра.* Рассмотрим падение сферы диаметром 0,6 м и массой 500 кг с высоты 1000 м. Скорость носителя и начальная горизонтальная скорость тела 400 км/ч. Разброс координат точки падения тела для двух серий измерений приведен на рис. 2. Серия 1 содержит 600 профилей ветра, полученных лидаром ИВЛ-5000 [15] от 4.00 до 10.00 23 июня 2017 г., серия 2 — 6000 точек, полученных в интервале от 8.00 22 июня до 2.00 23 июня 2017 г. Серии 1 и 2 соответствуют разным состояниям атмосферы, начало координат — падению по баллистической траектории в неподвижной атмосфере.

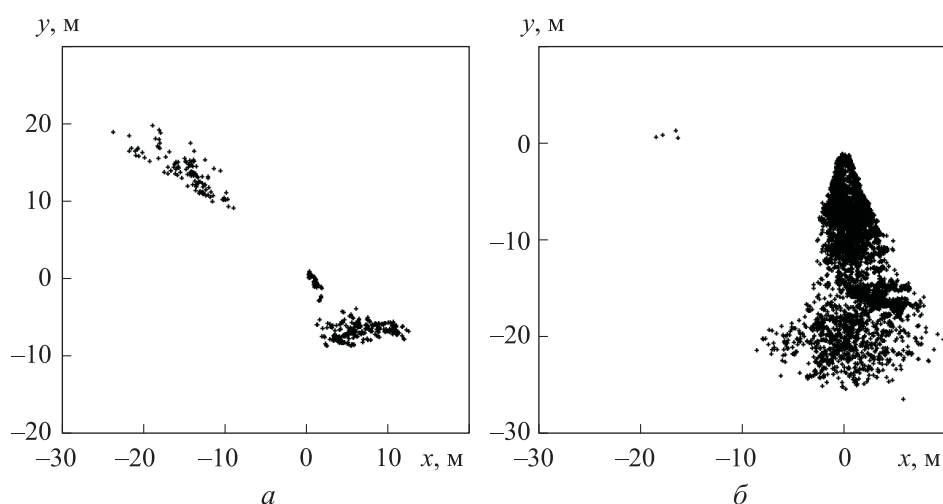


Рис. 2. Разброс координат точек падения тела под влиянием ветра для серий измерений 1 (а) и 2 (б)

Без коррекции, учитывающей ветровой снос, продольный и поперечный разбросы составляют 25...30 м. Для неуправляемого груза, коэффициент сопротивления которого больше, чем у сферического тела, разброс будет существеннее.

Коррекция по метеоданным о приземном ветре. Пусть имеются метеоданные об актуальном приземном ветре в реальном времени. Эти данные можно учесть, полагая, что на всех высотах направление и скорость горизонтального ветра равны приземным значениям, а вертикальный ветер отсутствует. Если точку сброса скорректировать с учетом этого прогноза, то разброс уменьшается. Результаты вычислений для серии 1 приведены на рис. 3, а. Поперечный и продольный разбросы уменьшаются до 20 м.

Коррекция с учетом ветра на высоте носителя. Пусть имеются данные об актуальной скорости ветра на высоте носителя. Если учесть их

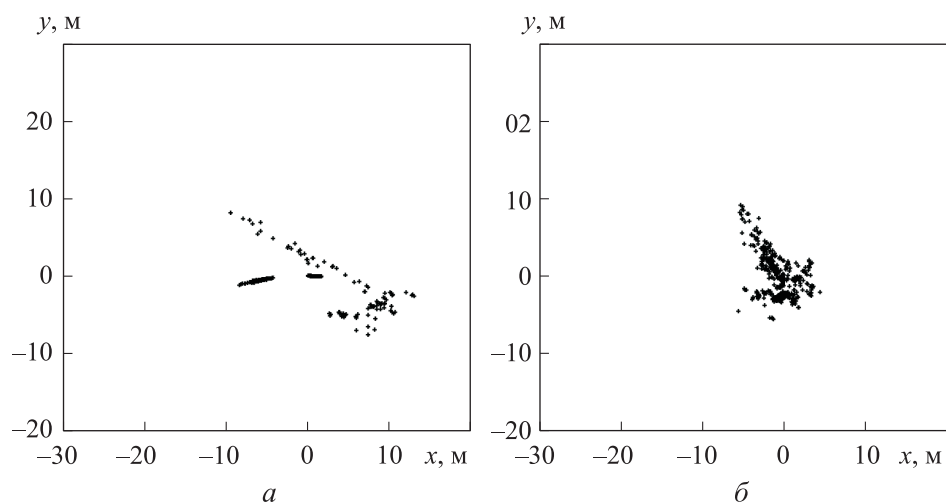


Рис. 3. Разброс координат точек падения для серий измерений 1 (а) и 2 (б)

и скорректировать точку сброса, исходя из предположения, что скорость и направление горизонтального ветра на всех высотах равны их значениям на высоте носителя, то разброс уменьшается приблизительно до 10...15 м. Результаты вычислений для серии 1 показаны на рис. 3, б.

Учет актуального распределения вектора скорости ветра в диапазоне высот, ограниченном сверху высотой носителя. Полностью устранить разброс, вызванный неоднородностью скорости ветра, можно только при учете всего высотного профиля ветра. Если учитывать только часть диапазона высоты, то, как показывает сравнение результатов, приведенных на рис. 3, а и б, учет высотного ветра должен давать лучшие результаты, чем учет приземного. Результаты расчетов с учетом такой коррекции для серий 1 и 2 приведены на рис. 4. Разброс уменьшается до единиц метров.

Учет аэродинамики неуправляемого груза на высотах, близких к высоте носителя, позволяет ввести такие поправки в координаты сброса, которые позволяют уменьшить погрешность наведения до единиц метров, в то время как исходная погрешность без коррекции может достигать десятки метров.

Среднеквадратичное отклонение (СКО) точки падения от точки прицеливания в зависимости от того, в каком диапазоне значений высоты учитывается влияние ветра, приведено на рис. 5. Расчеты проведены для двух серий измерений. Согласно расчетам, учет ветра в диапазоне значений высоты от носителя вниз на 250...300 м позволяет уменьшить погрешность в несколько раз, до единиц метров.

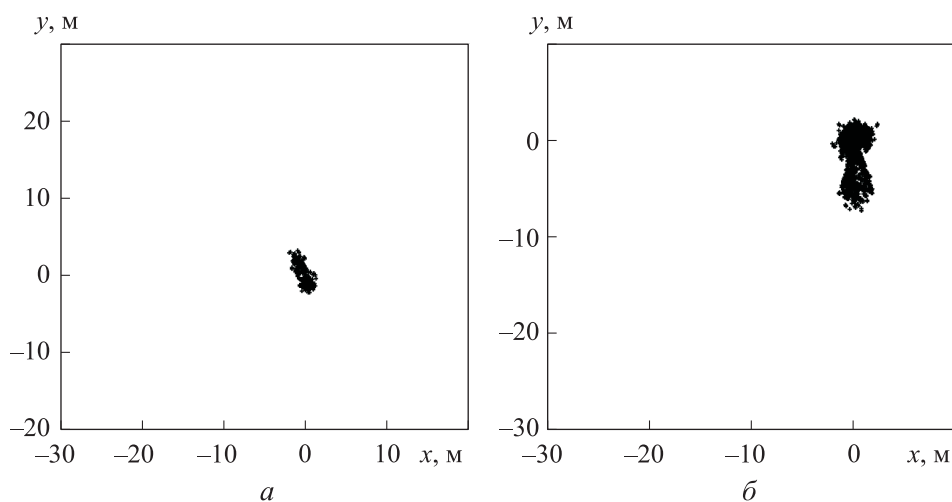


Рис. 4. Разброс координат точек падения при коррекции с учетом скорости ветра на высоте 250 м вниз от носителя для серий измерений 1 (а) и 2 (б)

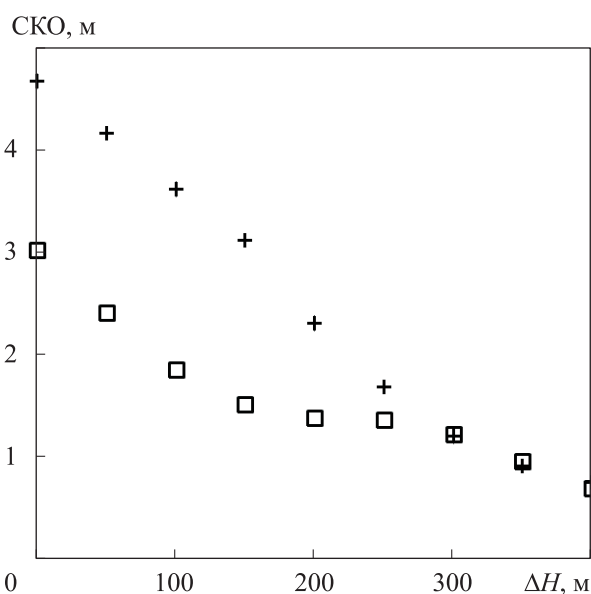


Рис. 5. Зависимость СКО радиального отклонения точки падения от заданной точки при коррекции с учетом актуального профиля вектора скорости ветра для серий измерений 1 (□) и 2 (+)

Заключение. Результаты моделирования аэродинамического сноса простейшего неуправляемого груза под действием неоднородного по высоте ветрового поля показывают следующее.

Неоднородность вектора скорости ветра по высоте представляет собой важный фактор, влияющий на отклонение точки падения.

Наибольшее влияние оказывают ветровые возмущения на начальных участках баллистической траектории неуправляемого груза, на близких к высоте носителя высотах в диапазоне нескольких сотен метров.

Существуют когерентные лидарные методы и соответствующие лидарные системы, позволяющие измерять неоднородности ветрового поля на дистанциях несколько сотен метров вниз от носителя.

Корректировка точки сброса с учетом ветрового сноса на высотах в диапазоне значений нескольких сотен метров от высоты носителя позволяет уменьшить погрешность наведения до единиц метров. Без такой корректировки погрешность, вносимая неоднородным ветром, составляет десятки метров.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Постников А.Г. Внешняя баллистика авиационных неуправляемых снарядов. М., ВВИА им. Н.Е. Жуковского, 2003.
- [2] Бельский А.Б. Направления совершенствования бортовых баллистических алгоритмов прицельных систем перспективных боевых вертолетов. *Известия ТулГУ. Технические науки*, 2018, № 11, с. 175–189.
- [3] Бельский А.Б., Постников А.Г. Повышение точности применения неуправляемых авиационных средств поражения за счет совершенствования баллистических алгоритмов бортовых вычислительных систем летательных аппаратов. *Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук*, 2014, т. 83, № 3, с. 60–69.
- [4] Кореньков В.В., Лежнин С.И., Селиванов В.В. и др. Компенсация ветрового сноса неуправляемых боеприпасов — основной фактор роста эффективности оружия при увеличении дальности применения. *Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук*, 2018, т. 102, № 2, с. 65–70.
- [5] Grier P. The JDAM revolution. *Air Force Mag.*, 2006, Sept. 1.
URL: <https://www.airforcemag.com/article/0906jdam>
- [6] Hoehn J.R., Ryder S.D. Precision-guided munitions: background and issues for congress. Congressional Report R45996, 2021.
- [7] Пушков С.Г., Ловицкий Л.Л., Корсун О.Н. Методы определения скорости ветра при проведении летных испытаний авиационной техники с применением спутниковых навигационных систем. *Мехатроника, автоматизация, управление*, 2013, № 9, с. 65–70.
- [8] Liston J. Some ballistic wind to wind-at-altitude ratios calculated from camp Pendleton stratified wind data. Program memorandum PM-2000-89. Government Systems Division, 1976.
- [9] Корсун О.Н., Поплавский Б.К. Оценивания систематических погрешностей бортовых измерений углов атаки и скольжения на основе интеграции данных спутниковой навигационной системы и идентификации скорости ветра. *Известия РАН. Теория и системы управления*, 2011, № 1, с. 133–146.

- [10] Корсун О.Н., Николаев С.В., Пушков С.Г. Алгоритм оценивания систематических погрешностей измерений воздушной скорости, углов атаки и скольжения в летных испытаниях. *Известия РАН. Теория и системы управления*, 2016, № 3, с. 118–129. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002338816030112>
- [11] Klein V., Morelli E. Aircraft system identification. Theory and practice. AIAA, 2006.
- [12] Чжо З.Л., Моунг Х.О. Development of wind velocity estimation method using the airspeed. *Вестник Московского авиационного института*, 2018, т. 25, № 2, с. 152–159.
- [13] Htang M.O., Latt K.Z., Zhelannikov A.I. Algorithm development for estimating projections of wind velocity using measurements of airspeed, angle of attack and sideslip. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 714, art. 012023. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/714/1/012023>
- [14] Андреев М., Борейшо А., Васильев Д. и др. Когерентные доплеровские лидары для мониторинга ветровой обстановки. *Фотоника*, 2014, № 6, с. 20–29.
- [15] Борейшо А., Ким А., Коняев М. и др. Современные лидарные средства дистанционного зондирования атмосферы. *Фотоника*, 2019, т. 13, № 7, с. 648–657. DOI: <https://doi.org/10.22184/1992-7296.FRos.13.7.648.657>
- [16] Краснов Н.Ф. Аэродинамика в вопросах и задачах. М., Высш. шк., 1985.
- [17] Бюшгенс Г.С., ред. Динамика полета. М., Машиностроение-Полет, 2017.

Борейшо Анатолий Сергеевич — д-р техн. наук, профессор, научный руководитель АО «Лазерные системы» (Российская Федерация, 198515, Санкт-Петербург, ул. Связи, д. 28, корп. 2, стр. 1).

Савин Андрей Валерьевич — д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник АО «Лазерные системы» (Российская Федерация, 198515, Санкт-Петербург, ул. Связи, д. 28, корп. 2, стр. 1).

Орлов Андрей Евгеньевич — канд. техн. наук, главный конструктор АО «Лазерные системы» (Российская Федерация, 198515, Санкт-Петербург, ул. Связи, д. 28, корп. 2, стр. 1).

Гулевич Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор, заместитель директора перспективных разработок АО «Вертолеты России» (Российская Федерация, 123610, Москва, Большая Пионерская ул., д. 1).

Берг Алексей Геннадьевич — канд. экон. наук, генеральный директор АО «РПКБ» (Российская Федерация, Московская обл., 140103, Раменское, ул. Гурьева, д. 2).

Субботин Владимир Юрьевич — заместитель генерального директора — директора по НИОКР АО «РПКБ» (Российская Федерация, Московская обл., 140103, Раменское, ул. Гурьева, д. 2).

Чернов Владимир Германович — главный конструктор АО «РПКБ» (Российская Федерация, Московская обл., 140103, Раменское, ул. Гурьева, д. 2).

Евхаритский Сергей Александрович — инженер-конструктор АО «РПКБ» (Российская Федерация, Московская обл., 140103, Раменское, ул. Гурьева, д. 2).

Герилович Ирина Владимировна — начальник бригады АО «Кронштадт» (Российская Федерация, 115432, Москва, пр-т Андропова, д. 18).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Борейшо А.С., Савин А.В., Орлов А.Е. и др. Влияние скорости ветра на точность сброса грузов с летательных аппаратов. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение*, 2022, № 1 (138), с. 20–31.

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2022-1-20-31>

INFLUENCE OF WIND SPEED ON THE ACCURACY OF CARGO DROPS FROM AIRCRAFT

A.S. Boreysho¹

A.V. Savin¹

A.E. Orlov¹

S.P. Gulevich²

s.gulevich@vertex.aero

A.G. Berg³

V.Yu. Subbotin³

V.G. Chernov³

S.A. Evkharitsky³

I.V. Gerilovich⁴

¹ Laser Systems JSC, St. Petersburg, Russian Federation

² Russian Helicopters JSC, Moscow, Russian Federation

³ RPKB JSC, Ramenskoe, Moscow Region, Russian Federation

⁴ Kronshtadt JSC, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article considers proposed methodological and technical solutions aimed at improving the accuracy of dropping cargo from aircraft by taking into account the wind speed. The characteristics of lidars of different types, capable of measuring the wind speed both near the aircraft and near the Earth's surface, are discussed. The results of experiments on measuring the wind speed profile at low altitudes in the airfield area are presented. The results of modeling the trajectory of an uncontrollable load falling in wind conditions show that taking into account the wind speed significantly increases the drop accuracy. The cargo was modeled as a sphere of a specified mass with specified aerodynamic coefficients. The effect of the completeness of information about

Keywords

Wind speed, wind speed measurement, Doppler lidar, wind drift

the distribution of wind speed over height on the drop accuracy is shown. In particular, options are compared when the wind speed is measured near the aircraft and near the surface of the earth. The drop accuracy indicators obtained in the course of simulation are given

Received 05.02.2021

Accepted 24.03.2021

© Author(s), 2022

REFERENCES

- [1] Postnikov A.G. Vneshnyaya ballistika aviatsionnykh nepravlyaemykh snaryadov [External ballistics of aviation unguided shells]. Moscow, MERC AF “AFA” Publ., 2003.
- [2] Belskiy A.B. Directions of improvement of onboard ballistic algorithms of targeting systems of perspective combat helicopters. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki* [News of the Tula State University. Technical Sciences], 2018, no. 11, pp. 175–189 (in Russ.).
- [3] Belskiy A.B., Postnikov A.G. Increase in aircraft unguided weapon accuracy as the result of airborne computer ballistic algorithms improvement. *Izvestiya Rossiyskoy akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk*, 2014, vol. 83, no. 3, pp. 60–69 (in Russ.).
- [4] Korenkov V.V., Lezhnin S.I., Selivanov V.V., et al. Compensation for unguided munitions wind drift — the main growth factor of weapons effectiveness while increasing the fire range. *Izvestiya Rossiyskoy akademii raketnykh i artilleriyskikh nauk*, 2018, vol. 102, no. 2, pp. 65–70 (in Russ.).
- [5] Grier P. The JDAM revolution. *Air Force Mag.*, 2006, Sept. 1, Available at: <https://www.airforcemag.com/article/0906jdam>
- [6] Hoehn J.R., Ryder S.D. Precision-guided munitions: background and issues for congress. Congressional Report R45996, 2021.
- [7] Pushkov S.G., Lovitskiy L.L., Korsun O.N. Wind speed determination methods in flight tests using satellite navigation systems. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* [Mechatronics, Automation, Control], 2013, no. 9, pp. 65–70 (in Russ.).
- [8] Liston J. Some ballistic wind to wind-at-altitude ratios calculated from camp Pendleton stratified wind data. Program memorandum PM-2000-89. Government Systems Division, 1976.
- [9] Korsun O.N., Poplavskii B.K. Estimation of systematic errors of onboard measurement of angle of attack and sliding angle based on integration of data of satellite navigation system and identification of wind velocity. *J. Comput. Syst. Sci. Int.*, 2011, vol. 50, no. 1, pp. 130–143. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064230711010126>
- [10] Korsun O.N., Nikolaev S.V., Pushkov S.G. An algorithm for estimating systematic measurement errors for air velocity, angle of attack, and sliding angle in flight testing. *J. Comput. Syst. Sci. Int.*, 2016, vol. 55, no. 3, pp. 446–457. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1064230716030114>
- [11] Klein V., Morelli E. Aircraft system identification. Theory and practice. AIAA, 2006.
- [12] Chzho Z.L., Moug Kh.O. Development of wind velocity estimation method using the airspeed. *Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta* [MAI Aerospace Journal], 2018, vol. 25, no. 2, pp. 152–159 (in Russ.).

[13] Htang M.O., Latt K.Z., Zhelannikov A.I. Algorithm development for estimating projections of wind velocity using measurements of airspeed, angle of attack and sideslip. *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, 2020, vol. 714, art. 012023.

DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/714/1/012023>

[14] Andreev M., Boreysho A., Vasilyev D., et al. Coherent Doppler lidars for wind monitoring. *Fotonika* [Photonics Russia], 2014, no. 6, pp. 20–29 (in Russ.).

[15] Boreysho A., Kim A., Konyaev M., et al. Modern lidar systems for atmosphere remote sensing. *Fotonika* [Photonics Russia], 2019, vol. 13, no. 7, pp. 648–657 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22184/1992-7296.FRos.13.7.648.657>

[16] Krasnov N.F. *Aerodinamika v voprosakh i zadachakh* [Aerodynamics in questions and problems]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1985.

[17] Byushgens G.S., ed. *Dinamika poleta* [Flight dynamics]. Moscow, Mashinostroenie-Polet Publ., 2017.

Boreysho A.S. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Director of Sciences, Laser Systems JSC (Svyazi ul. 28, korp. 2, str. 1, St. Petersburg, 198515 Russian Federation).

Savin A.V. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Chief Research Fellow, Laser Systems JSC (Svyazi ul. 28, korp. 2, str. 1, St. Petersburg, 198515 Russian Federation).

Orlov A.E. — Cand. Sc. (Eng.), Chief Designer, Laser Systems JSC (Svyazi ul. 28, korp. 2, str. 1, St. Petersburg, 198515 Russian Federation).

Gulevich S.P. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Deputy Director of Advanced Development, Russian Helicopters JSC (Bolshaya Pionerskaya ul. 1, Moscow, 123610 Russian Federation).

Berg A.G. — Cand. Sc. (Econ.), General Director, RPKB JSC (Guryeva ul. 2, Ramenskoe, Moscow Region, 140103 Russian Federation).

Subbotin V.Yu. — Deputy Director — Director of Research and Development, RPKB JSC (Guryeva ul. 2, Ramenskoe, Moscow Region, 140103 Russian Federation).

Chernov V.G. — Chief Designer, RPKB JSC (Guryeva ul. 2, Ramenskoe, Moscow Region, 140103 Russian Federation).

Evkharitsky S.A. — Design Engineer, RPKB JSC (Guryeva ul. 2, Ramenskoe, Moscow Region, 140103 Russian Federation).

Gerilovich I.V. — Brigade Major, Kronshtadt JSC (Andropova prospekt 18, Moscow, 115432 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Boreysho A.S., Savin A.V., Orlov A.E., et al. Influence of wind speed on the accuracy of cargo drops from aircraft. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Instrument Engineering*, 2022, no. 1 (138), pp. 20–31 (in Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18698/0236-3933-2022-1-20-31>