



УДК 623.565
ГРНТИ 78.21.47

К ВОПРОСУ ОБ АНАЛИЗЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ТОЧНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ СВОБОДНОПАДАЮЩИХ АВИАЦИОННЫХ БОМБ

О.А. ЗАМОЛОЦКИХ

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

М.Ю. ЧЕРНИЧЕНКО,

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

В.В. ФАДЕЕВ,

ВУНЦ ВВС «ВВА имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж)

Эффективность применения авиационных средств поражения непосредственно зависит от точности решения задачи прицеливания, которая включает в себя определение параметров прицеливания и реализацию на их основе такого управления летательным аппаратом и оружием, при котором обеспечивается попадание в цель. Однако, традиционная задача прицеливания, на которой базируются существующие системы, осуществляется в виде конечных формул, представляющих собой результаты решения детерминированных дифференциальных уравнений движения авиационных средств поражения и цели при неслучайных начальных условиях. В статье проведен анализ степени влияния основных факторов в том числе и стохастического характера, на определение параметров прицеливания и целесообразность их учета в решении задачи прицеливания.

Ключевые слова: прицельные авиационные системы; свободнопадающая авиационная бомба; факторы рассеивания.

THE QUESTION OF ANALYSIS OF FACTORS AFFECTING THE ACCURACY OF THE USE OF FREE-FALLING BOMBS

O.A. ZAMOLOTSKIKH

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

M.Y. CHERNICHENKO,

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

V.V. FADEEV

MESC AF «N.E. Zhukovsky and Y.A. Gagarin Air Force Academy» (Voronezh)

Efficiency of airborne weapons depends on the accuracy of aiming that includes the determination of parameters and implementation of aircraft and weapon control, which provides a target hit. However, the traditional task of aiming is carried out in form of formulas, which are the results of deterministic solutions of differential motion equations of airborne weapons and target in nonrandom initial conditions. The paper reveals analysis of influence degree of the main factors to determination of targeting settings.

Keywords: sighting system; free-falling bomb; diffusive factor.



Повышение точности решения задачи прицеливания и управления оружием всегда было и остается узловым направлением научных исследований и практической деятельности. Характеристики точности боевого применения авиационного оружия (точностные характеристики) являются одной из основных характеристик как в целом авиационного боевого комплекса, так и комплекса авиационного вооружения (КАВ), определяющих эффективность КАВ на этапе поражения объектов. В свою очередь, важнейшими свойствами авиационной прицельно-навигационной системы (АПрНС), как основной из составляющих КАВ, определяющими ее боевую эффективность, является точность решения задачи прицеливания [1].

Хорошо известно, что при любом способе бомбометания снаряды, как правило, не попадают строго в требуемую точку, отклоняясь от нее случайным образом. Явление, заключающееся в том, что прицельно выпущенный снаряд, ракета, бомба получают отклонения в каждом конкретном случае, и, тем более назвать его величину, невозможно, но классифицировать хотя бы предположения на этот счет необходимо.

К первой группе относят класс так называемых ошибок информационной системы – неизбежных на практике погрешностей в измерении тех физических величин, которые определяют возможность решения задачи прицеливания. Информационная система состоит из совокупности датчиков (измерителей параметров движения цели, собственного летательного аппарата (ЛА), высоты полета и др.), с помощью которых получается исходная информация, необходимая для решения задачи о точке встречи авиационной бомбы с целью. Определяемые параметры измеряются с ошибками, вследствие чего вычисленное положение точки встречи будет отличаться от истинного. Действительно, ошибка, к примеру, в измерении угла атаки или крена, даже при идеальном осуществлении всех остальных параметров АПрНС породит неточность решения задачи прицеливания, выражением которой станет отклонение авиационных средств поражения (АСП) от цели. Для повышения точности и надежности получения информации могут быть использованы различные методы, как традиционные, связанные с совершенствованием конструкции и технологии производства существующих устройств, так и созданием устройств на новых физических принципах. Однако, как показывает практика, с достижением определенного уровня точности, ее дальнейшее приращение только конструктивным и технологическим путями удастся только с большими временными и экономическими затратами [2].

Одним из направлений преодоления указанных трудностей является применение структурной избыточности (рисунок 1). Она подразумевает под собой наличие на борту ЛА ряда измерителей (технических устройств) одного и того же параметра. Тем самым, получение однородной информации от нескольких датчиков различной физической природы с последующей совместной обработкой этой информации в вычислительном устройстве (ВУ) позволяет улучшить их суммарные характеристики. Объединением в одно комплексное измерительное устройство нескольких технических устройств, предназначенных для измерения одной и той же физической величины, называется комплексированием технических устройств. Комплексирование обеспечивает получение новых устройств, возможности которых значительно превосходят те, которые могут быть достигнуты при автономном применении тех же устройств.

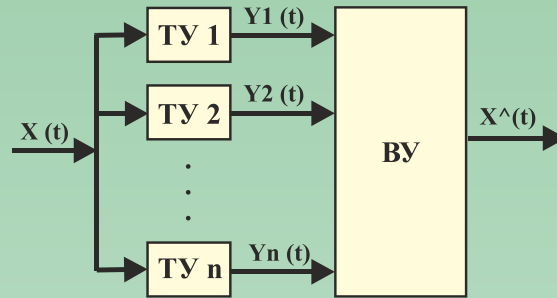


Рисунок 1 – Структура схемы с избыточностью

Вторую группу возможных причин рассеивания образует погрешность вычислений по формулам, составляющим математическое содержание задачи прицеливания. Обнаружить их можно, подав на вход вычислительной машины исходную информацию без погрешностей и получив на выходе решение с отличием от идеала. Указанного рода неточность называют инструментальной [3]. Управляющие команды, вычисленные в бортовой цифровой вычислительной машине прицельной системы, передаются на исполнительные органы с помощью ряда передающих устройств, которые (как всякие технические устройства) работают с ошибками. Инструментальные ошибки являются следствием неточности изготовления различных подсистем и элементов КАВ и измерения их характеристик под действием внешних условий. Для использования в оценках точности бомбометания результат анализа данных погрешностей представляют в виде допуска на точность вычислений. Решение проблемы в этой области постоянно ведется – создаются и внедряются более совершенные управляющие системы.

При выполнении бомбометания исполнительным органом является сам летчик, который маневрируя самолетом, стремится совместить прицельные метки. Эта операция выполняется с ошибками, которые, в свою очередь, вызывают ошибку бомбометания, называемую ошибкой наводки.

Большую группу обстоятельств, вызывающих неточное бомбометание, включают неизбежную в производственном цикле неоднородность баллистических, геометрических и других характеристик АСП, деформаций ЛА в полете с их зависимостью от условий его выполнения, вибрация ЛА и установок вооружения и другие, сходные по смыслу обстоятельства. Данной проблеме уделялось достаточно много внимания – еще в 1947 году известный ученый в области исследования операций и боевой эффективности авиационного вооружения Ю.Г. Мильграм выделил основные причины технического рассеивания при бомбометании серий и залпом [4]:

1. Баллистическое неоднобразие бомб одного и того же типа. К примеру, свободнопадающая авиационная бомба ОФАБ 250-270, в зависимости от года производства, несмотря на одинаковую внешнюю форму, имеет четыре различных вида. Различия в массе составляют до 30 килограммов. А это существенно влияет на баллистические характеристики. И при исследовании баллистических характеристик необходимо рассматривать несколько вариантов с различной массой (рисунок 2).

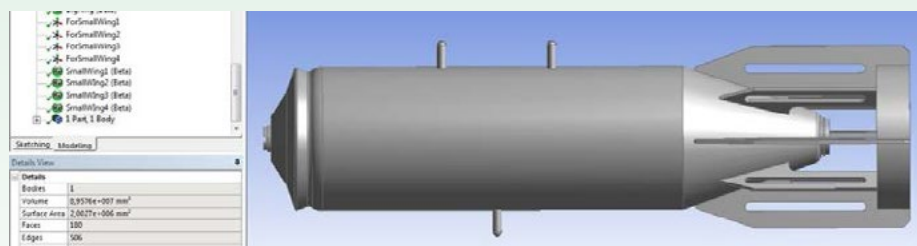


Рисунок 2 – Авиационная бомба ОФАБ 250-270 в среде моделирования ANSYS



2. Неодновременность срабатывания замков балочных держателей.

3. Колебания самолета, которые по-разному влияют на бомбы из того, что бомбы подвешиваются в разных точках под самолетом или внутри него, а не в центре тяжести самолета и отделяются от него неодновременно.

4. Различные условия падения бомб в начале траектории в случае наличия и наружной и внутренней подвески бомб. Бомбы, сбрасываемые из бомбового отсека, не встречают сопротивления воздушного потока при падении в отсеке, а при выходе из него и погружении в поток испытывают удар.

5. Различное действие ветра на падающие бомбы. Ветер будет относить разные бомбы на разное расстояние благодаря различным временам падения бомб. Иначе говоря, ветер будет действовать индивидуально на каждую бомбу в группе бомб через отклонения во времени падения, а также вследствие различия в весовых и геометрических характеристиках бомбы.

6. Ошибки от непараллельности осей бомб между собой.

7. Наличие собственных колебаний авиабомб на траектории.

8. Рассредоточение бомб под плоскостью самолета, которое можно считать искусственно созданным «начальным» рассеиванием бомб и приобщенное к техническому рассеиванию.

Другой известный ученый в области баллистического обеспечения и безопасности боевого применения авиационных неуправляемых средств поражения А.Г. Постников приводит классификацию факторов рассеивания для авиационных бомб со сложной баллистической схемой [5]:

$$\vec{r}_T = \vec{r}_T^{HV} + \vec{r}_T^{ВОЗМ} + \vec{r}_T^{ТУРБ} + \vec{r}_T^{ИХ} + \vec{r}_T^{АДХ} + \vec{r}_T^{ДИСТ} + \vec{r}_T^{ТВ}, \quad (1)$$

где отдельные слагаемые обусловлены действием таких первичных факторов технического рассеивания как:

колебания летательного аппарата в процессе отделения снаряда, приводящие к разбросу начальных условий его движения \vec{r}_T^{HV} ;

неоднородность и турбулентность потока вблизи ЛА $\vec{r}_T^{ВОЗМ}$);

турбулентность свободной атмосферы ($\vec{r}_T^{ТУРБ}$);

инерционная асимметрия снаряда, то есть отклонение его инерционных параметров от номинальных (паспортных) значений ($\vec{r}_T^{ИХ}$);

аэродинамическая асимметрия снаряда, то есть разброс значений его АДХ относительно номинальных ($\vec{r}_T^{АДХ}$);

разброс параметров срабатывания дистанционных устройств, обеспечивающих программное изменение конструктивной баллистической схемы снаряда ($\vec{r}_T^{ДИСТ}$);

разброс характеристик парашютных тормозных устройств ($\vec{r}_T^{ТВ}$);

Перечисленные факторы имеют явно выраженный случайный характер, поэтому оценка их влияния производится статистическими методами. При этом в силу слабой зависимости факторов в рассмотренной классификации, составляющие полной ошибки в (1) могут рассматриваться как независимые случайные векторы.

Траектория авиационных бомб является баллистической и для обеспечения высокой точности попадания в цель необходимо как можно точнее ее рассчитывать. Уравнения, решаемые в вычислительном устройстве прицельной системы (рабочие уравнения), обычно отличаются от уравнений, которые точно описывают положение точки встречи, вводятся разного рода упрощения и допущения, погрешности в аппроксима-



ции физических закономерностей, например, баллистических траекторий. Кроме того, в рабочих формулах некоторые факторы, оказывающие второстепенное влияние на точность бомбометания, могут не учитываться вовсе, либо учитываться грубо. Эти обстоятельства приводят к ошибке бомбометания, являющейся методической ошибкой [5]. Это очень важная составляющая полной ошибки при решении задачи прицеливания.

Полная система дифференциальных уравнений движения авиационной бомбы включает двенадцать уравнений, по три уравнения в каждой подсистеме:

1. Динамические уравнения движения центра масс снаряда;
2. Кинематические уравнения движения центра масс снаряда;
3. Динамические уравнения движения снаряда относительно центра масс;
4. Кинематические уравнения движения снаряда относительно центра масс.

Тем не менее, на практике, в полной мере полная система уравнений не используется в силу следующих объективных причин: во-первых, чем сложнее система уравнений, тем больших вычислительных ресурсов она требует для своего решения – затрат времени и объема запоминающих устройств; во-вторых, существует проблема с трудностью получения полной системы характеристик, обеспечивающих полную модель, так как для задания всех аэродинамических свойств авиабомбы требуется знание нескольких десятков функциональных зависимостей аэродинамических коэффициентов от различных параметров.

Поэтому для придания методам решения баллистических задач оперативности, а результатам решения – компактности, уравнение движения НАСП упрощают, то есть от реального движения переходят к некоторой схеме, предполагая, что ось АСП совпадает с касательной к траектории. При этом всякий снаряд представляется материальной точкой, обладающей тем не менее основными баллистическими свойствами реального снаряда. Но в настоящее время необходимо отходить от упрощений. В связи с совершенствованием структуры вычислительной системы авиационной прицельно-навигационной системы и планирования вычислительного процесса, появляется возможность учитывать параметры, которыми ранее пренебрегали. Важную роль при решении задачи прицеливания играют аэродинамические коэффициенты.

Аэродинамические характеристики, с той или иной степенью точности, могут быть определены методами физического и математического моделирования, а также при натурных испытаниях снарядов (баллистический метод и метод внешнетраекторных измерений в летном эксперименте).

Физическое моделирование осуществляется в основном в аэродинамических трубах и установках, что при простом задании угловых положений не требует большого количества моделей, а силы и моменты, действующие на модель, определяются непосредственным измерением с помощью аэродинамических весов. К основным недостаткам метода продувок моделей в аэродинамических трубах относятся: искажение державкой процесса течения потока, трудность и низкая точность измерения аэродинамических сил и моментов. Кроме того, малый диапазон скоростей продувок не позволяет исследовать поведение снаряда на сверхзвуковых и гиперзвуковых скоростях.

До настоящего времени одним из основных методов определения аэродинамических характеристик снарядов являлся баллистический метод. Однако особенности этого метода приводят к определенным трудностям и налагают известные ограничения, заключающиеся в том, что аэродинамические силы и моменты не измеряются непосредственно в опыте, а определяются косвенным путем на основе анализа траекторных измерений, представляющих собой серии дискретных значений линейных и угловых координат тела и соответствующих им моментов времени. Это приводит к необходимости построения устойчивых вычислительных алгоритмов решений некорректных обратных задач. В этих условиях практические возможности экспериментальных методов опре-



деляются как точностью получаемых результатов, так и трудоемкостью, и временными затратами на получение и обработку экспериментальных данных. Говоря о натуральных испытаниях, следует отметить их хорошую точность определения основных аэродинамических характеристик. Однако натурные испытания требуют больших материальных затрат и большого времени на их проведение.

При определении аэродинамических характеристик (АДХ) для широкого класса боеприпасов используются также методы математического моделирования. Основным преимуществом расчетных методов, по сравнению с вышеизложенными, является то, что один раз корректно разработанная математическая модель и программа могут использоваться многократно при различных вариантах компоновочной схемы снаряда, что обеспечивает оперативное решение задачи определения АДХ. Кроме того, математическое моделирование не требует пересчета полученных результатов на реальные условия полета и реальные образцы боеприпасов. Так как математическая модель является идеализированным описанием реального физического процесса, то степень качественного соответствия результатов может быть определена сравнением этих результатов с данными натуральных испытаний.

Подводя итог, стоит сделать выводы, что в зависимости от времени действия, все факторы могут быть разделены на факторы прицельного и технического рассеивания. Факторы прицельного рассеивания действуют до начала отделения снаряда от ЛА, а факторы технического рассеивания – в процессе и после отделения снаряда. Факторы технического рассеивания в ближайшем будущем будут учитывать, к примеру, с использованием технологии радиочастотной идентификации (RFID) боеприпасов [6]. Данная технология позволит учитывать индивидуальные характеристики коэффициента сопротивления, реальную массу. Также стоит отметить, что в последнее время широкое распространение при расчете АДХ получили численные методы решения нелинейных уравнений, описывающие течение идеального газа около гладких тел вращения [7].

Наряду с традиционным путем повышения точности, связанным с технической модернизацией, все большее значение приобретают алгоритмические методы повышения точности. Их основное содержание можно представить в виде трех направлений:

- разработка адекватного математического описания задачи прицеливания;
- разработка методов и алгоритмов управления летательным аппаратом и оружием при прицеливании;
- разработка методов и алгоритмов комплексной обработки прицельно-навигационной информации о фазовых координатах летательного аппарата, оружия и цели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Конуркин В.А. Комплексы авиационного вооружения. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003. 947 с.
2. Краснов А.М. Авиационные прицельно-навигационные системы. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2006. 623 с.
3. Калабухова Е.П. Основы теории эффективности воздушной стрельбы и бомбометания. М.: Машиностроение, 1991. 332 с.
4. Мильграм Ю.Г. Техническое рассеивание при бомбометании и влияние его на вероятность попадания в цель: дисс. ... канд. техн. наук. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 1947. 87 с.
5. Постников А.Г. Внешняя баллистика авиационных неуправляемых снарядов. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2003. 396 с.



6. Буряк Ю.И. Направления повышения эффективности применения перспективных авиационных комплексов за счет согласованного использования современных информационных технологий // Академические Жуковские чтения (25-26 ноября 2015): матер. третьей всерос. науч.-практ. конф. Воронеж: ВУНЦ ВВС «ВВА», 2016. С. 30–34.

7. Николаев А.В. Расчет аэродинамического коэффициента лобового сопротивления авиационного артиллерийского снаряда с помощью пакета ANSYS CFX // Проблемы совершенствования робототехнических и интеллектуальных систем летательных аппаратов: матер. междунар. науч.-практ. конф. М.: МАИ, 2015. С. 178–182.

BIBLIOGRAPHY

1. Konurkin V.A. Aircraft armament systems. M.: Zhukovsky AFEA, 2003. 947 p.
2. Krasnov A.M. Aircraft aiming navigation systems. M.: Zhukovsky AFEA, 2006. 623 p.
3. Kalabuhova E.P. Foundations of the theory of weapon and bomb delivery efficiency. M.: Mashinostroenie, 1991. 332 p.
4. Milgram Y.G. Technical dispersion of bomb delivery and impact on probability of target hitting: Diss. ... PhD. M.: Zhukovsky AFEA, 1947. 87 p.
5. Postnikov A.G. External ballistic of aircraft unguided weapons. M.: Zhukovsky AFEA, 2003. 396 p.
6. Buryak Y.I. Ways of increasing the efficiency of promising aircraft systems by consistent use of modern information technology // Academical Zhukovsky readings (On 25-26 Nov. 2015): materials of the third All-Russian scientific and practical conference. Voronezh: MESAC AF «AFA», 2016. P. 30–34.
7. Nikolaev A.V. Calculation of aerodynamic coefficient of drag of aircraft artillery shell with ANSYS CFX // Problems of improvement of robotic and intelligent systems of aircraft: materials of the international scientific and practical conference. M.: MAI, 2015. P. 178–182.

© Замолоцких О.А., Черниченко М.Ю., Фадеев В.В., 2017

Замолоцких Олег Александрович, адъюнкт научно-исследовательского отдела научно-исследовательского центра (проблем применения, обеспечения и управления авиацией Военно-воздушных сил), Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Черниченко Михаил Юрьевич, преподаватель 212 кафедры, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru

Фадеев Владимир Владимирович, оператор научной роты, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (г. Воронеж), Россия, 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, vaiu@mil.ru