

03;12

## **Задание начальных условий движения в баллистическом эксперименте**

© П.И. Ковалев, С.Г. Томсон

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, С.-Петербург  
E-mail: kovalev@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 20 октября 2006 г.

Рассмотрены вопросы, связанные с решением одной из важных задач, возникающих при проведении баллистического эксперимента. Предложены методы возбуждения и гашения колебаний тел, метаемых лабораторными пороховыми ускорителями. Приведены результаты испытаний предложенных методик.

PACS: 47.10.ab

При исследовании аэродинамических характеристик летательных аппаратов баллистическим методом необходимо уметь задавать угловую скорость аппарата вокруг его центра масс. Это требование может быть продиктовано различными обстоятельствами, например применяемой методикой исследования [1,2] или необходимостью моделировать конкретный режим полета.

Обычно эта задача решается путем установки аппарата под заданным углом в стволе пушки [3]. Удерживает аппарат в этом положении поддон, дополняющий его до цилиндра соосного с каналом ствола. После вылета из пушки поддон отделяется от аппарата за счет аэродинамических сил, и возле аппарата начинает устанавливаться обтекание, соответствующее его свободному полету. Если угол установки отличается от балансировочного угла, то аппарат начинает совершать колебания, если совпадает, то при соблюдении определенных условий, для ограниченного класса аэродинамических аппаратов, можно добиться движения без колебаний. Этот метод успешно использовался при исследовании аэродинамических характеристик аппаратов сегментально-конической формы [2,3]. Так как эти аппараты обладают малым удлинением, их установка под большими углами атаки не требовала увеличения калибра пушки. Для стрельбы телами большого удлинения этот метод непригоден, так как требует либо увеличения калибра пушки, либо уменьшения размеров аппарата. В обоих случаях это приводит к существенному

увеличению отношения массы поддона к массе аппарата, что, в свою очередь, усложняет отделение поддона от метаемого тела. Поэтому при стрельбе аппаратами большого удлинения используется довольно примитивный, но эффективный прием: на траектории движения аппарата устанавливают наклонную легко разрушаемую преграду, соударение с которой приводит к раскачиванию аппарата. Этот прием пригоден для умеренных скоростей метания  $\sim 600$  m/s и для объектов с небольшим запасом устойчивости.

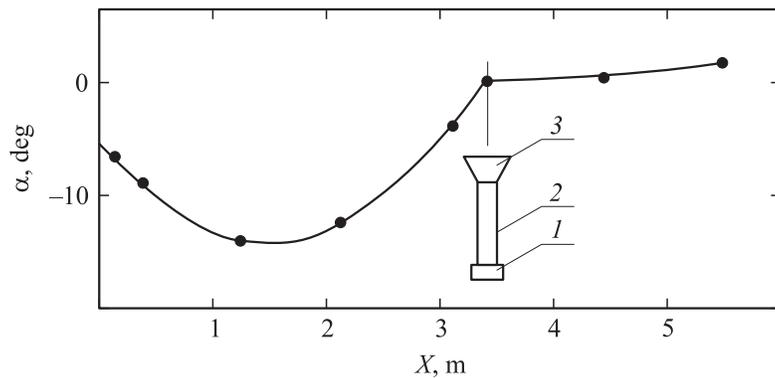
Появление новых аэродинамических форм и попытки моделирования их движения выявили принципиальные ограничения, которыми обладают упомянутые методы, задания углового движения исследуемых тел.

При изучении аэродинамических характеристик аппаратов с несущим корпусом, имеющих форму притупленного конуса, усеченного наклонной плоскостью, для оптимизации формы аппарата было необходимо реализовать движение без колебаний. Однако попытки выстрелить на балансировочном угле атаки окончились неудачей. Причина неудач была установлена и носила принципиальный характер. Известно, что величина балансировочного угла атаки зависит от режима обтекания, поэтому на этапе отделения поддона, когда обтекание аппарата не является установившимся, происходит аэродинамический толчок.

Этот эффект невозможно устранить, однако при исследовании аэродинамических характеристик аппаратов сегментально-конической формы его удалось скомпенсировать. Эмпирически, меняя конструкцию поддона, удалось добиться, чтобы при отделении поддон сообщал аппарату механический толчок, компенсирующий аэродинамический импульс. Однако для аппаратов более сложной формы [3] этот путь не привел к желаемому результату.

В этой статье предлагается другой, более универсальный метод. Его главное отличие состоит в том, что компенсирующий импульс создается за счет аэродинамического воздействия уже после разделения поддона и метаемого тела.

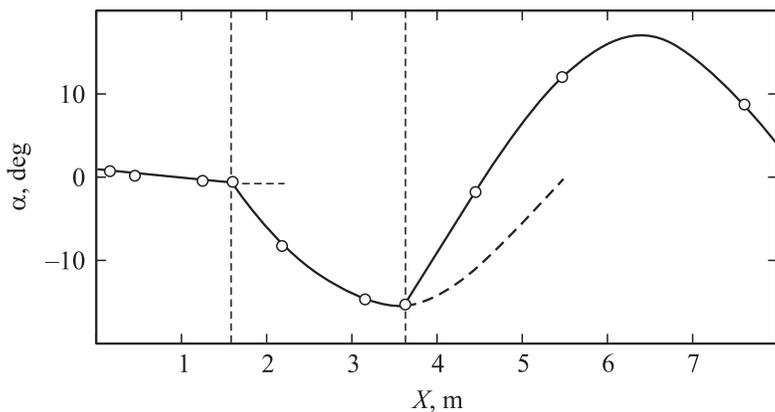
В работе [4] приведены некоторые результаты по исследованию бокового воздействия взрывом на свободно летящий объект. В результате проведенных исследований было установлено, что импульсное боковое воздействие взрывом при умеренном энерговкладе в первом приближении можно рассматривать как мгновенное, в результате которого объект получает линейный и угловой возмущающие импульсы. Если



**Рис. 1.** Гашение колебаний свободнолетающего конического тела при помощи бокового взрывного воздействия.

сообщаемая и собственная угловые скорости объекта противоположны, то можно достичь полного гашения колебаний. На рис. 1 показаны результаты одного из экспериментов по гашению колебаний объекта, находящегося в свободном полете. В качестве метаемого тела использовался острый конус с углом раствора  $20^\circ$  и диаметром основания 20 mm, его скорость полета была равна 750 m/s. Для формирования взрывной зоны в экспериментах использовалось устройство, показанное на рис. 1. Устройство состояло из взрывной камеры 1, снаряженной шестью электродетонаторами, цилиндрической трубы 2 и сопряженного с ней конического сопла 3. При взрыве электродетонаторов суммарным зарядом 5.25 kJ на срезе сопла формировалась ударная волна с числом Маха  $M=2$  и с радиусом кривизны, равным 350 mm. В экспериментах расстояние от среза сопла до траектории составляло около 80 mm. На графике по оси абсцисс отложено расстояние, отсчитанное вдоль баротрассы в метрах, по оси ординат — угол атаки —  $\alpha$  в градусах. Система синхронизации подрыва электродетонаторов обеспечивала касательное взаимодействие, при котором глубина погружения конуса в область взрыва не превышала двух калибров. При попадании конуса в область взрыва он подвергался боковому обдуву, что приводило к сообщению ему углового импульса. Выбором энергии взрыва удалось достигнуть полного гашения колебаний.

Очевидно, что такой способ управления движением позволяет не только гасить, но и возбуждать колебания, и допускает многократное

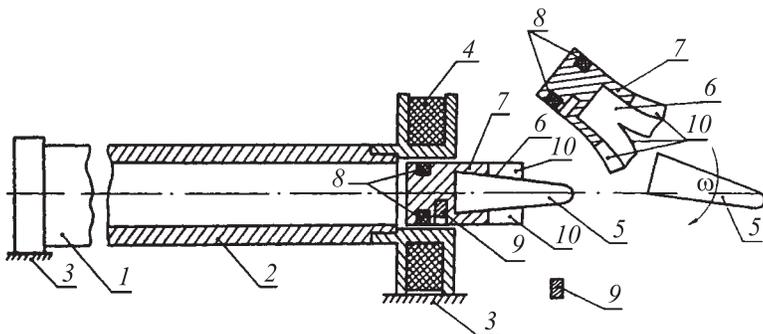


**Рис. 2.** Воздействие серий последовательных взрывов на угловое движение конического тела, летящего со сверхзвуковой скоростью.

применение в процессе одного эксперимента. Располагая устройства, обеспечивающие взрывное воздействие, на расстояниях, кратных половине периода свободных колебаний метаемого тела, можно реализовать резонансную раскачку метаемого тела. Это обстоятельство имеет большое практическое значение, так как позволяет наблюдать движение исследуемого объекта при различных размахах колебаний в одном опыте, что повышает информативность экспериментов.

На рис. 2 показаны результаты обработки эксперимента по раскачке модели конуса. Взрывные устройства были расположены сверху и снизу от траектории движения и отстояли друг от друга на расстоянии, несколько меньшем длины полупериода свободных колебаний. Сечения, в которых были расположены взрывные устройства, показаны пунктирными линиями. Первый взрыв раскачивал метаемый объект. Энергия второго — расходовалась на изменение фазы и амплитуды колебаний.

Как уже отмечалось ранее, для раскачивания тел, имеющих большое удлинение, больше двух калибров, наиболее приемлемым является способ раскачки при помощи разрушаемой преграды. Этот способ, имеющий определенные ограничения, оказался непригодным при метании тел с передней срывной зоной. Характерная форма этих тел, имеющих длинный шток с дисковым насадком [5], исключала возможность преодоления преграды без повреждения метаемого тела, даже при скоростях метания менее 300 м/с.



**Рис. 3.** Схема устройства для сообщения угловой скорости объектам, метаемым лабораторными пороховыми ускорителями.

Решение этой проблемы потребовало принципиально нового подхода, который расширял функцию поддона как элемента, удерживающего метаемое тело в стволе в заданном положении. Благодаря устройству, расположенному внутри поддона, после вылета поддона из ствола происходило принудительное отделение поддона от метаемого тела, при этом телу сообщался угловой импульс.

Суть технического решения поясняется схемой, показанной на рис. 3. На рис. 3 показаны: казенная часть пушки — 1; ствол — 2; фундамент — 3; устройство, создающее магнитное поле — 4, метаемое тело — 5; гнездо для установки метаемого тела — 6; поддон — 7. В кольцевой канавке, выполненной на внешней поверхности поддона, размещена катушка индуктивности — 8, в поддоне установлен электродетонатор — 9, замыкающий катушку. Поддон рассечен продольными разрезами — 10. На рис. 3 показаны поддон и метаемое тело в момент выхода из ствола и в момент их разделения.

Работа устройства происходит следующим образом. Одновременно с подачей электрического импульса на запал заряда ускоряющей системы на катушку — 4 подается постоянное электрическое напряжение, которое поддерживается до момента вылета поддона из ствола — 2. При пересечении поддоном магнитного поля, создаваемого катушкой — 4, на катушку — 8 наводится электродвижущая сила, которая приводит к подрыву электродетонатора — 9. Срабатывание электродетонатора — 9 сопровождается его вылетом из поддона — 7, что приводит к преодолению усилия связи поддона и метаемого тела. При вылете электро-

детонатора и отделении поддона метаемому телу сообщается угловой импульс. Изменением длины разрезов —  $l_0$  можно менять усилие связи между поддоном и метаемым телом, что позволяет варьировать угловую скорость, сообщаемую телу.

Показанное на рис. 3 устройство применялось при метании тел с передней срывной зоной калибром 30 mm при скоростях до 100 m/s, при этом была достигнута угловая скорость, обеспечивающая переворот тела вокруг оси, перпендикулярной направлению стрельбы.

Показанное на рис. 3 устройство может быть использовано для отделения поддона от метаемого тела при стрельбе в герметизированных баллистических трассах, при пониженных давлениях, когда аэродинамическое отделение затруднено. Для решения этой задачи поддон рассекается разрезами полностью, а в образовавшихся долях поддона электродетонаторы устанавливаются симметрично, навстречу друг другу. При такой модификации срабатывание электродетонаторов будет приводить к симметричному разлету деталей поддона.

Предлагаемые методы задания начальных условий движения существенно повышают эффективность баллистического эксперимента, так как их использование расширяет круг моделируемых явлений.

## Список литературы

- [1] Бедин А.П., Мишин Г.И., Чистякова М.В. // Физико-газодинамические баллистические исследования. Л.: Наука, 1980. С. 9–24.
- [2] Менде Н.П. // Физико-газодинамические баллистические исследования. Л.: Наука, 1980. С. 200–224.
- [3] Kovalev P.I., Mende N.P., Thomson S.G. // An album of supersonic flow visualisation / Ed. by Kovalev H.I. and Mende N.P. Beijing, People's Republic of China, National Industry Press, 2000. P. 51–62.
- [4] Kovalev P.I., Mende N.P. // An album of supersonic flow visualisation / Ed. by Kovalev H.I. and Mende N.P. Beijing, People's Republic of China, National Industry Press, 2000. P. 116–134.
- [5] Ковалев П.И., Томсон С.Г. // Сб. докл. науч. конф. Волжского регионального центра РАН „Современные методы проектирования и отработки ракетно-артиллерийского вооружения“. Саров, 2004. С. 673–683.