

Бойковый акселерометр специального назначения

03, март 2017

К.т.н., доцент Козлов В. И.

УДК: 623.451.741(075.8)

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

kozlov38@yandex.ru

Введение

В статье представлено описание бойкового акселерометра как автономного прибора для дискретного измерения законов перегрузок, возникающих при взаимодействии боеприпаса с преградой. Изложена методика обработки показаний прибора и приведен конкретный пример.

Основными преимуществами БА специального назначения, разработанного автором, являются:

- исключительная простота конструкции и надежность работы;
- возможность установки в любом месте испытуемого изделия;
- простота градуировки чувствительного элемента;
- возможность регистрации законов изменения ударной перегрузки во времени;
- отсутствие проводной связи;
- простота информации и обработки сигнала.

1. Конструкция БА специального назначения

В корпусе этого БА (рис. 1) имеются отверстия для установки медных конических крешеров и инерционных ударников с предохранительными пружинами. Различные длины бойков в ячейках прибора обеспечивают различные величины их свободного хода до удара о крешер. Для обеспечения постоянства массы бойков в них сделаны сверления на разную глубину. Конструкция осевого БА показана на рисунке 1.

Для обеспечения точности показаний БА массу бойков необходимо выбирать с таким расчетом, чтобы при ударе о крешер не происходила потеря его устойчивости, т.е. чтобы не возникала пластическая деформация цилиндрической части [7]. Статическая силовая характеристика крешера как деформируемого элемента может быть описана зависимостью [7]

$$\alpha = b_{cm} P_{cm}^n,$$

где α – деформация (локальное смятие) крешера; b_{cm} – коэффициент, определяемый физи-

ко-механическими свойствами материала; $P_{ст}$ – сила, приложенная к крешеру; n – коэффициент, зависящий от конфигурации соударяющихся тел в зоне контакта. Эмпирические параметры $b_{ст}$ и n находят в результате перестроения этой зависимости в логарифмической системе координат; при этом она превращается в прямую линию.

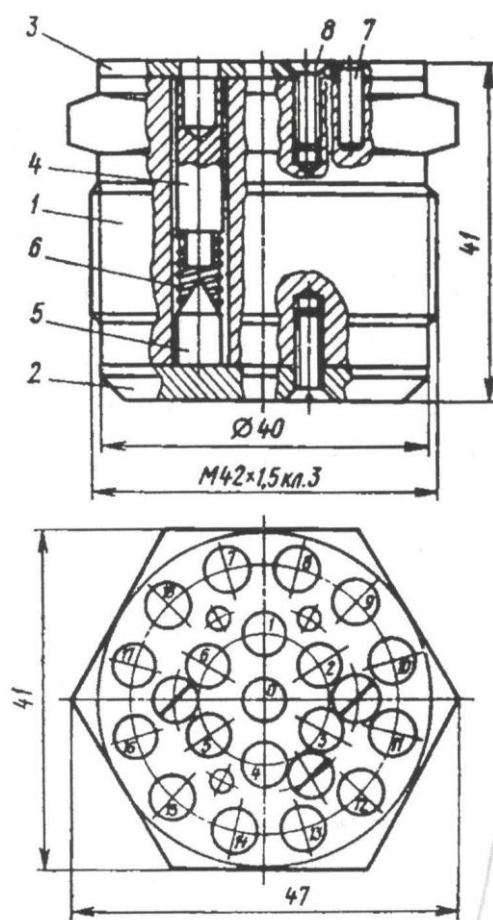


Рис. 1. Конструктивная схема контактного предельного ИП:

1 – корпус ИП; 2 – дно ИП; 3 – крышка; 4 – ударник; 5 – крешерный столбик;
6 – пружина ударника; 7 – штифт; 8 – винт

Динамичность процесса нагружения крешера приближенно учитывают следующим образом: при одинаковой деформации имеет место соотношение $P = \chi P_{ст}$, где значение коэффициента χ в среднем принимается равным 1,3. Кроме того, считается, что показатель степени n одинаков как при статическом, так и при динамическом нагружении [6]. Таким образом, динамическая силовая характеристика будет иметь вид

$$\alpha = bP^n,$$

где $b = b_{ст}/\chi^n$.

Экспериментально установлено, что стандартный медный конический крешер размером 8x13 мм теряет устойчивость при деформации от 1,8 до 2 мм, а крешер размером 6x9,8 мм – при деформации от 1,4 до 1,6 мм. Если этим деформациям соответствует предельно допустимая динамическая сила $P_{пр}$, то масса бойка должна выбираться из условия $m \leq P_{пр}/(k_m g)$, где k_m – ориентировочное значение максимальной перегрузки.

2. Выбор параметров БА

Для того, чтобы зарегистрировать дискретные значения перегрузки до максимального значения k_m (которому соответствует снятие крешера α_m), максимальный путь бояка не должен превышать определенную величину – s_m . Последнюю можно выбрать следующим образом. Известно, что при проникании в различные среды оживального жесткого тела максимум силы сопротивления (и, соответственно, перегрузки) соответствует внедрению на длину головной части X_m . В пределах переднего фронта, т.е. $0 \leq t \leq t_m$, закон изменения перегрузки можно считать линейным, т.е.

$$\frac{dV}{dt} = -gk(t) = -gk_m \frac{t}{t_m}.$$

Интегрируя, получим

$$V = V_0 - gk_m \frac{t^2}{2t_m}; \quad X = V_0 t - gk_m \frac{t^3}{6t_m}, \quad (1)$$

где V_0 и V – скорость встречи с преградой и текущая скорость боеприпаса. В момент максимума перегрузок, соответственно,

$$V_m = V_0 - \frac{1}{2} gk_m t_m; \quad X_m = V_0 t_m - \frac{1}{6} gk_m t_m^2. \quad (2)$$

Если не учитывать сопротивление пружины в ячейках прибора, то относительная скорость бойков будет равна падению скорости боеприпаса, т.е.

$$v = V_0 - V = gk_m \frac{t^2}{2t_m}; \quad x = gk_m \frac{t^3}{6t_m}.$$

В момент времени $t = t_m$, $x_m = s_m = gk_m t_m^2 / 6$, откуда

$$t_m = \sqrt{\frac{6s_m}{gk_m}}. \quad (3)$$

Перепишем второе из уравнений (2) в виде

$$X_m = V_0 \sqrt{\frac{6s_m}{gk_m}} - s_m.$$

Отсюда найдем требуемый максимальный путь бояка

$$s_m = X_m \left(\frac{3V_0^2}{gk_m X_m} - 1 \right) \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{3V_0^2}{gk_m X_m} - 1 \right)^{-2}} \right] \quad (4)$$

или, приближенно,

$$s_m \approx \frac{X_m}{2 \left(\frac{3V_0^2}{gk_m X_m} - 1 \right)}.$$

Таким образом, если известны ожидаемые значения k_m и t_m , то с помощью (2) и (4) можно определить приближенное значение X_m и требуемое расстояние между бойком и крешером.

3. Методика обработки показаний БА

Мерой ударного ускорения (силы инерции, перегрузки), возникающего при взаимодействии боеприпаса с преградой, является деформация (смятие) крешерного столбика бойком. В результате обработки показаний необходимо рассчитать дискретные значения действующей перегрузки за счет использования нескольких ячеек, в которых размещаются бойки одинаковой массы m , но с различной величиной рабочего хода s_i . В случае применения стандартных крешерных столбиков можно воспользоваться статическими таражными таблицами с учетом динамической ошибки измерения [8]. При составлении этих таблиц отбирают от 100 до 150 столбиков, измеряют их высоту и производят обжатие на прессе с дискретными значениями силы – 0,1... 2,5 кН с определенным шагом. Величину обжатия крешера измеряют после каждого нагружения, определяя ее как разность высот столбика до и после обжатия, усредняя 10 значений при каждом уровне силы.

Полученные зависимости аппроксимируют с помощью приведенного выше выражения $\alpha = b_{cm} P_{cm}^n$. Если учесть динамичность нагружения с помощью коэффициента χ , то энергию, затрачиваемую на деформирование крешерных столбиков, можно определить по следующей формуле:

$$E_{kpi} = \int_0^{\alpha_i} P(\alpha) d\alpha = \chi \int_0^{\alpha_i} P_{cm}(\alpha) d\alpha = \frac{\chi}{b_{cm}^{\frac{1}{n}}} \int_0^{\alpha_i} \alpha^{\frac{1}{n}} d\alpha = \chi \frac{n}{1+n} \frac{1}{b_{cm}^{\frac{1}{n}}} \alpha_i^{\frac{1+n}{n}} = \chi \frac{n}{1+n} P_{cmi} \alpha_i,$$

где α_i и P_{cmi} – максимальные деформация и контактная сила, соответственно. Графическая зависимость $E_{kpi} = f(\alpha_i)$ характеризует чувствительность крешерного столбика к нагрузке.

При установке крешерных столбиков в БА измеряют фактическую высоту каждого из них и свободный ход бойков. После испытаний определяют максимальные деформации крешерных столбиков, начиная с бойка, который имеет нулевой рабочий ход. Затем строят зависимость изменения максимальной деформации крешерных столбиков от свободного хода бойка, т.е. $\alpha_{mi} = f(s_i)$ и, соответственно, работу деформирования крешерного столбика $E_{кр}$ по формуле (5). Затем вычисляют работу деформирования пружины

$$E_{npi} = c \lambda_{cpi} (s_i + \alpha_{mi}),$$

где c – коэффициент жесткости пружины; λ_{cpi} – средняя величина поджатия пружины на пути $s_i + \alpha_{mi}$. После этого определяют полную энергию, затрачиваемую каждым ударником для деформации крешерного столбика и пружины.

По полученным результатам находят основные характеристики измеряемого ударного процесса с помощью методики обработки показаний [1]. Для первой расчетной точки перегрузку k_1 , скорость V_1 и время t_1 определяют из соотношений [1]

$$k_1 = \frac{1}{A_1} \frac{2E_1}{mgs_1};$$

$$V_1^2 = \frac{3}{2} gk_1 s_1;$$

$$t_1 = \sqrt{\frac{6s_1}{gk_1}};$$

$$A_1 = \frac{3}{2} + 2 \frac{\alpha_1}{s_1} \left(1 + \frac{1}{6} \frac{\alpha_1}{s_1} \right).$$

Для последующих точек

$$k_i = \frac{1}{A_i} \left(\frac{2E_i}{mg\Delta s_i} + B_i k_{i-1} - \frac{V_{i-1}^2}{g\Delta s_i} \right);$$

$$V_i^2 = V_{i-1}^2 + g(k_i + k_{i-1})\Delta s_i;$$

$$\Delta t_i = \frac{2\Delta s_i}{V_i + V_{i-1}};$$

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t_i; \quad \Delta s_i = s_i - s_{i-1};$$

$$A_i = \left(1 + \frac{\alpha_i}{\Delta s_i} \right)^2; \quad B_i = \left(\frac{\alpha_i}{\Delta s_i} \right)^2 - 1.$$

4. Экспериментальные исследования БА

БА был установлен в боеприпасе вместо ВУ, как показано на рисунке 2: прибор БА-7,5-ОС – в авиабомбе, а БА-15-ОС-Е – в РГБ. Целью опытов была регистрация осевых перегрузок при встрече указанных изделий с водной поверхностью. Массы бойков были равны 7,28 и 14,7 г, соответственно.

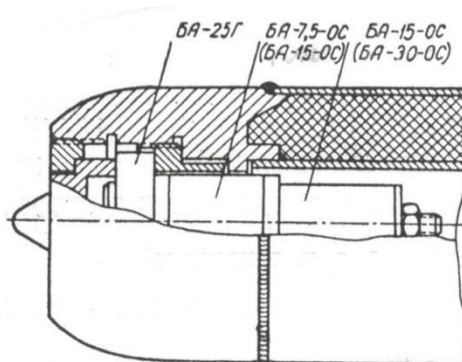


Рис. 2. Размещение БА в АБ

Полученные в результате обработки показаний БА законы перегрузки представлены на рисунке 3.

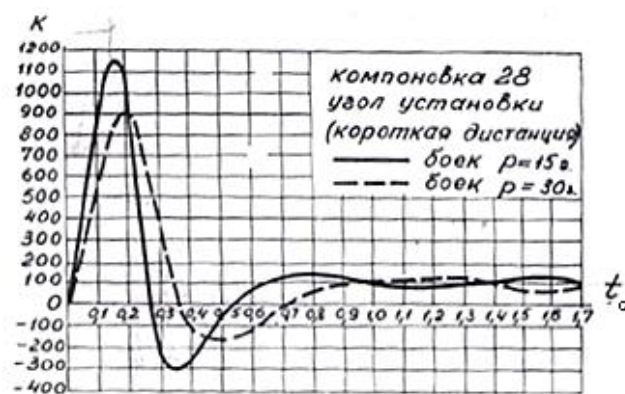


Рис. 3. Законы изменения перегрузок, зарегистрированные с помощью осевых БА

Для ориентировочной оценки поперечных перегрузок, возникающих при больших углах встречи от нормали, были установлены радиальные акселерометры БА-25Г (рис. 4).

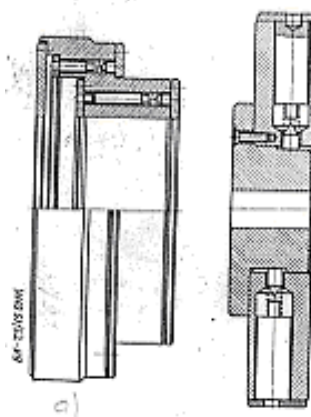


Рис. 4. Конструкции осевых и радиальных БА

В цилиндрическом дюралевом корпусе имеется 12 радиальных отверстий, масса бойка 25 г, крешеры с размерами 6х9,8 мм. При обработке показаний БА после испытаний остаточные деформации были зафиксированы на всех крешерах, однако они были распределены неравномерно, что свидетельствует о наличии кратковременных ударных импульсов (рис. 5).

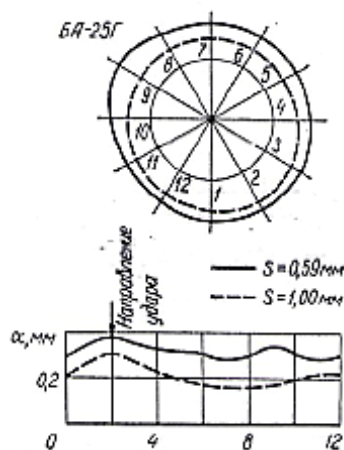


Рис. 5. Результаты обработки радиальных БА

Можно предположить, что деформация крешеров происходила в результате воздействия поперечных сил при ударе о водную поверхность, а также радиальной составляющей силы нутации на траектории. Перегрузка, действующая на медный крешер от центростремительного ускорения, равна

$$k_c = \frac{r_0 v^2}{g},$$

где v – угловая скорость нутации боеприпаса, – удаление центра масс бойка от оси вращения. Натурные испытания РГБ проводились пусками с корабельной установки на три дистанции: 800, 1700 и 5400 м.

Заключение

Результаты экспериментальных исследований БА, проведенных при участии автора статьи на озере Иссык-Куль (Киргизия), свидетельствуют о следующем:

1) Перегрузки, действующие на БА (т.е. ВУ), значительно больше перегрузок, действующих на корпус бомбы. Это объясняется тем, что под действием интенсивной силы реакции с поверхности воды и из-за недостаточно надежного крепления ВУ происходит суммирование перегрузок вследствие торможения боеприпаса в целом [4].

2) БА фиксируют перегрузки, действующие в сторону, обратную по отношению к ускорению АБ, что связано с относительным смещением БА (ВУ) из-за недостаточной жесткости узла крепления. При жестком креплении показания БА, очевидно, соответствовали бы перегрузке корпуса АБ, а отрицательные перегрузки будут отсутствовать. Таким образом, на детали БА (ВУ) при приводнении АБ могут действовать знакопеременные перегрузки.

При бомбометании с одних и тех же высот наблюдается значительный разброс величин максимальных перегрузок и времени их нарастания. Это объясняется тем, что имеет место довольно большой разброс углов встречи с водной поверхностью вследствие колебаний АБ на траектории и волнения моря.

Использование разработчиками ВУ полученных результатов исследования позволило значительно снизить уровень действующих при эксплуатации АБ перегрузок и тем самым повысить надежность работы ВУ.

По результатам работы можно сделать следующие основные выводы:

1. Показана перспективность применения бойкового акселерометра как автономного регистратора ударных перегрузок при встрече боеприпасов с преградой.

2. Изложена методика обработки показаний прибора и приведены примеры реальных законов перегрузки при ударе авиабомб о водную поверхность.

3. Дана оценка поперечных перегрузок и показано, что они, в зависимости от условий встречи, могут быть знакопеременными.

Список литературы

- [1]. Батуев Г.С., Козлов В.И. Методика определения перегрузок, возникающих при встрече натурального изделия с водной поверхностью // Боеприпасы. 1972. № 3. 10 с.
- [2]. Приборы и системы для измерения вибрации, шума и удара: Справочник. В 2-х кн. / Под ред. В.В. Ключева. Кн. 1. М.: Машиностроение. 1978. С. 186-191
- [3]. Козлов В.И. Анализ технических решений взрывательных устройств к боеприпасам различных классов / Автономные информационные и управляющие системы. В 4 т. / Под ред. А.Б. Борзова. Т. 1. М.: ООО НИЦ «Инженер», ООО «Онико-М». 2011. С. 337-468
- [4]. Козлов В.И. Особенности конструкции взрывательных устройств для авиабомб. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2010. 80 с.
- [5]. Козлов В.И. Особенности проектирования и испытаний датчиков цели взрывательных устройств. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2007. 45 с.
- [6]. Козлов В.И. Емкостной датчик цели // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Машиностроение. Специальный выпуск. 2011. С.121-134.
- [7]. Инженерные методы исследования ударных процессов. 2-е изд. / Г.С. Батуев, Ю.В. Голубков, А.К. Ефремов и др. М.: Машиностроение. 1977. 240 с.
- [8]. Ефремов А.К. Динамическая ошибка крешерного прибора // Боеприпасы. 1994. № 3/4. С. 16–21
- [9]. Donald E. Calucci, Sidney S. Jacobsen. Ballistics: Theory and Design of Guns and Ammunition, Second Edition. CRC Press. 2013. 608 p.