

## МЕТОДИКА ГАБАРИТНОГО РАСЧЕТА ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОГО ПРИЦЕЛА

*Сенаторов Н.В. (ЦКБ «Арсенал», г. Киев, Украина),  
Микитенко В.И. (НТУУ «Киевский политехнический институт», Украина)*

Предложена методика габаритного расчета телескопического прицела при заданном диаметре корпуса. Методика основана на использовании базы данных о выпускаемых образцах, частных показателей качества и обобщенного показателя эффективности прицела. Методика позволяет определять увеличение и поле зрения прицела.

Research deals with methodic for telescopic sight calculation of optical combination at definite carcass dimension. Methodic is based on using Data Base on projected samples, complex of individual indexes and united quality index. Methodic permits to calculate the field of view and magnification in system.

**Постановка задачи.** При проектировании телескопического прицела для стрелкового оружия разработчику приходится решать многопараметрическую задачу. С одной стороны, особенности компоновки прицела на оружии ограничивают диаметр его корпуса и, соответственно, диаметр входного зрачка прицела  $D_{\text{вх.зр}}$ , который связан с диаметром выходного зрачка  $d_{\text{вых.зр}}$  и разрешающей способностью  $\psi''$  зависимостями:

$$d_{\text{вых.зр}} = D_{\text{вх.зр}} / \Gamma, \quad (1)$$

$$\psi'' = 120'' / D_{\text{вх.зр}},$$

где  $\Gamma$  – увеличение прицела.

Увеличение прицела  $\Gamma$  определяется отношением:

$$\Gamma = \text{tg } \beta' / \text{tg } \beta, \quad (2)$$

где  $2\beta$  и  $2\beta'$  – поле зрения прицела в пространстве целей и на выходе окуляра соответственно.

С другой стороны, специфика применения стрелкового оружия для обеспечения безопасности при отдаче устанавливает ограничение на минимальное удаление выходного зрачка прицела  $t_{\text{зр}}$ , в котором находится глаз стрелка.

Используемый подход к габаритному расчету телескопического прицела [1] предусматривает задание величин  $\Gamma$  и  $2\beta$  в качестве исходных параметров, которые согласно действующим стандартам затем указываются в технических условиях на прибор. Однако при этом не берется во внимание то, как сочетание этих параметров влияет на эффективность прицела.

**Цель данного исследования** – разработка методики габаритного расчета с учетом показателя эффективности качества прицела.

Установим взаимосвязь между параметрами  $2\beta$  и  $\Gamma$ . Согласно рис. получаем габаритное соотношение:

$$\text{tg } \beta' = (D_{\text{вх.зр}} - d_{\text{вых.зр}}) / 2 t_{\text{зр}} \quad (3)$$

или с учетом (1) и (2) –

$$\operatorname{tg} \beta = D_{\text{вх.зр}} (\Gamma - 1) / 2 t_{\text{зр}} \Gamma^2. \quad (4)$$

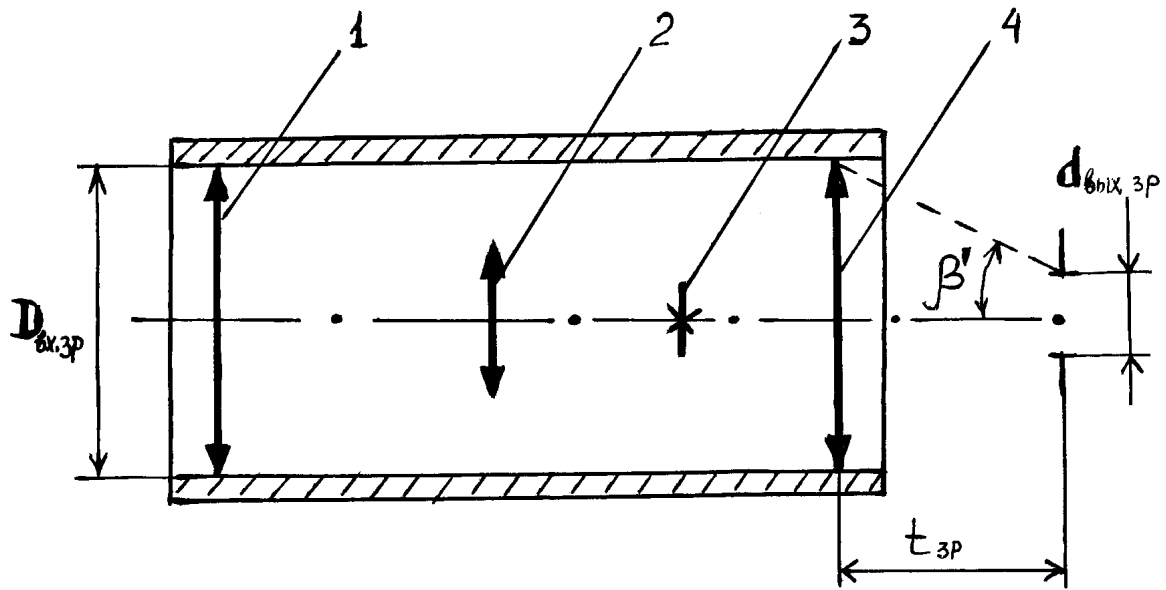


Рис. Принципиальная оптическая схема телескопического прицела:  
1 – объектив; 2 – оборачивающая система; 3 – прицельная сетка; 4 – окуляр

Таким образом, при заданном  $D_{\text{вх.зр}}$  параметры  $d_{\text{вых.зр}}$  и  $2\beta$  связаны с увеличением  $\Gamma$ . Согласно [2] каждый из этих параметров можно характеризовать частным показателем качества  $0 \leq K_i \leq 1$  вида:

$$K_d = (d_{\text{вых.зр}} - d_{\text{вых.зр. min}}) / (d_{\text{вых.зр. max}} - d_{\text{вых.зр. min}}), \quad (5)$$

$$K_\beta = (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \beta_{\text{min}}) / (\operatorname{tg} \beta_{\text{max}} - \operatorname{tg} \beta_{\text{min}}), \quad (6)$$

$$K_\Gamma = (\Gamma - \Gamma_{\text{min}}) / (\Gamma_{\text{max}} - \Gamma_{\text{min}}), \quad (7)$$

где:  $d_{\text{вых.зр. min}}$ ,  $\beta_{\text{min}}$ ,  $\Gamma_{\text{min}}$ ,  $d_{\text{вых.зр. max}}$ ,  $\beta_{\text{max}}$  и  $\Gamma_{\text{max}}$  – минимальное и максимальное значение параметра из банка данных образцов серийно выпускаемых прицелов.

Банк данных [2], где приведены характеристики 70-ти образцов прицелов, определяет диапазон параметра  $\Gamma$ : от  $1,5^x$  до  $12^x$ . Подставляя этот диапазон в (7), находим выражение для показателя качества  $K_\Gamma$ :

$$K_\Gamma = 0,0952 \Gamma - 0,1429. \quad (8)$$

Подставляя этот же диапазон в (1) и (4), находим выражения для крайних значений параметров  $d_{\text{вых.зр}}$  и  $\beta$ :

$$d_{\text{вых.зр. min}} = 0,083 D_{\text{вх.зр}}, \quad (9)$$

$$d_{\text{вых.зр. max}} = 0,6667 D_{\text{вх.зр}}, \quad (10)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{\text{min}} = 0,0764 D_{\text{вх.зр}} / 2 t_{\text{зр}}, \quad (11)$$

$$\operatorname{tg} \beta_{\max} = 0,2222 D_{\text{вх.зр}} / 2 t_{\text{зр}}. \quad (12)$$

Подставляя (1), (9) и (10) в (5), а (4), (10) и (11) в (6), получаем окончательные выражения для показателей качества  $K_d$  и  $K_\beta$ :

$$K_d = 1,7144/\Gamma - 0,1423, \quad (13)$$

$$K_\beta = 6,8587 (1/\Gamma - 1/\Gamma^2) - 0,524. \quad (14)$$

Введём обобщенный показатель эффективности прицела  $0 \leq K_\Sigma \leq 1$  вида:

$$K_\Sigma = \prod_{i=1}^{i=N} (w_i K_i), \quad (15)$$

где  $w_i$  – весовые коэффициенты показателей качества, количество которых  $N = 1 \dots 3$ . Учитывая, что  $d_{\text{вых.зр}}$ ,  $2\beta$  и  $\Gamma$  являются основными габаритными характеристиками прицела,  $w_i$  следует принять равным 1. Т.е. обобщенный показатель эффективности прицела находится как произведение частных показателей качества.

При  $N = 3$  выражение (15) для показателя эффективности прицела с учетом (8), (13) и (14) принимает вид

$$K_\Sigma = 1,6803 \Gamma^{-3} - 2,9362 \Gamma^{-2} + 1,4801 \Gamma^{-1} + 0,0071 \Gamma - 0,1893. \quad (16)$$

Величину  $\Gamma$  при которой  $K_\Sigma$  принимает наибольшее значение, найдем, приравняв нулю частную производную  $\partial K_\Sigma / \partial \Gamma$ :

$$\partial K_\Sigma / \partial \Gamma = 0,0071 \Gamma^4 - 1,1401 \Gamma^2 + 5,8724 \Gamma - 5,0409 = 0.$$

Решение этого уравнения дает результат  $\Gamma = 3^X$ . Подставляя это значение  $\Gamma$  в формулы (1) и (4) находим окончательные выражения для расчета диаметра выходного зрачка и поля зрения прицела:

$$d_{\text{вых.зр}} = D_{\text{вх.зр}} / 3,$$

$$\operatorname{tg} \beta = D_{\text{вх.зр}} / 9 t_{\text{зр}}.$$

Подставляя это же значение  $\Gamma$  в формулы (8), (13), (14) и (16) определим показатели качества и эффективности прицела:  $K_\Gamma = 0,1427$ ;  $K_d = 0,43$ ;  $K_\beta = 1$  и  $K_\Sigma = 0,06$ .

Банк данных, приведенный в [2], дает следующий диапазон параметра  $D_{\text{вх.зр}}$ : от 15 до 60 мм. В таблице 1 приведены значения параметров  $d_{\text{вых.зр}}$  и  $2\beta$ , обеспечивающие наибольшее значение  $K_\Sigma$  при  $t_{\text{зр}} = 75$  мм.

Табл.1

$D_{\text{вх.зр}}$ (мм)	60	50	40	30	20
$2\beta$ (град)	10,2	8,5	6,8	5,1	3,4
$d_{\text{вых.зр}}$ (мм)	20	17	13	10	7

Если с точки зрения оптимального сочетания увеличения, поля зрения и диаметра выходного зрачка оценить прицелы, приведенные в указанной базе данных, то можно сделать следующие выводы. Большинство прицелов с переменным увеличением обеспечивает необходимое увеличение  $3^X$ . Лишь три образца (32-1545M; 32-3940M; 72-3940) фирмы Bushnell (США) обладают наилучшим сочетанием увеличения, диаметра

выходного зрачка и поля зрения. Прицелы 42-2104М той же фирмы и ПО 3-9х38 завода ФЭД (Украина) близки к наилучшему сочетанию параметров.

Если специфика размещения прицела на оружии предусматривает четкую фиксацию глаза при прицеливании, то учитывать параметр  $d_{\text{вых.зр}}$  при оптимизации нет необходимости и  $N$  в формуле (15) равен 2. После подставки в нее выражений (8) и (14) формула принимает окончательный вид

$$K_{\Sigma} = 0,9801 \Gamma^{-2} - 1,633 \Gamma^{-1} - 0,05 \Gamma + 0,7278. \quad (17)$$

Величину  $\Gamma$ , при которой  $K_{\Sigma}$  принимает наибольшее значение, найдем, приравняв нулю частную производную  $\partial K_{\Sigma} / \partial \Gamma$ :

$$\partial K_{\Sigma} / \partial \Gamma = 0,05 \Gamma^3 - 1,633 \Gamma + 1,9602 = 0.$$

Решение этого уравнения дает результат  $\Gamma = 5^X$ . Подставляя это значение  $\Gamma$  в формулу (4), находим окончательные выражения для расчета поля зрения прицела:

$$\text{tg } \beta = 0,16 D_{\text{вх.зр}} / 2 t_{\text{зр}}. \quad (18)$$

Подставляя это же значение  $\Gamma$  в формулы (8), (14) и (17) определим показатели качества и эффективности прицела:  $K_{\Gamma} = 0,3331$ ;  $K_{\beta} = 0,5734$  и  $K_{\Sigma} = 0,191$ .

В таблице 2 приведены значения параметра  $2\beta$ , обеспечивающего наибольшее значение  $K_{\Sigma}$  при  $t_{\text{зр}} = 75$  мм.

Табл.2

$D_{\text{вх.зр}}$ (мм)	60	50	40	30	20
$2\beta$ (град)	7,3	6,1	4,9	3,7	2,4

Если с точки зрения оптимального сочетания увеличения и поля зрения оценить прицелы, приведенные в указанной базе данных, то можно сделать следующие выводы. Большинство прицелов с переменным увеличением обеспечивает необходимое увеличение  $5^X$ . К этому значению близко и среднее значение увеличения прицелов с линзовой оборачивающей системой, приведенных [2]. В то же время, только отдельные образцы обладают наилучшим сочетанием увеличения и поля зрения. Среди них прицелы 42-1636М, 73-1644М, 32-3940М и 71-4124 фирмы Bushnell (США). Прицелы 72-3940 этой же фирмы и прицел ARTEMIS-2100 (Чехия) близки к наилучшему сочетанию параметров.

Прицелы 32-3940М и 72-3940 можно отнести к разряду лучших по обеим оценкам.

При выбранном увеличении расчет наилучшего диаметра входного зрачка можно выполнить по следующей методике. Охарактеризуем диаметра входного зрачка габаритным показателем качества  $K_D$  вида [2]:

$$K_D = (D_{\text{вх.зр max}} - D_{\text{вх.зр}}) / (D_{\text{вх.зр max}} - D_{\text{вх.зр min}}). \quad (19)$$

После подстановки в (19) значений  $D_{\text{вх.зр min}} = 15$  мм и  $D_{\text{вх.зр max}} = 60$  мм из базы данных формула принимает окончательный вид:

$$K_D = 1,3333 - 0,0222 D_{\text{вх.зр}}. \quad (20)$$

Выражения для показателей качества параметров  $d_{\text{вых.зр}}$  и  $2\beta$ , которые связаны с  $D_{\text{вх.зр}}$ , при постоянном увеличении принимают вид:

$$K_d = K_\beta = 0,0222 D_{\text{вх.зр}} - 0,3333. \quad (21)$$

После подстановки (20) и (21) в (15) получаем при  $N=3$  окончательное выражение для показателя эффективности  $K_\Sigma$ :

$$K_\Sigma = 10^{-5} D_{\text{вх.зр}}^3 - 0,004 D_{\text{вх.зр}}^2 + 0,1971 D_{\text{вх.зр}} + 0,1456.$$

Величина  $D_{\text{вх.зр}}$ , при которой  $K_\Sigma$  принимает наибольшее значение, находится из уравнения:

$$\partial K_\Sigma / \partial D_{\text{вх.зр}} = 3 \cdot 10^{-5} D_{\text{вх.зр}}^2 - 0,008 D_{\text{вх.зр}} + 0,1971 = 0.$$

Учитывая малость первого слагаемого в последней формуле, им можно пренебречь, и тогда решение этого уравнения дает результат  $D_{\text{вх.зр}} = 25$  мм. При  $t_{\text{зр}} = 75$  остальные параметры системы составят:  $2\beta = 4,2^0$  и  $d_{\text{вых.зр}} = 8$  мм при  $\Gamma = 3^X$ ;  $2\beta = 3^0$  при  $\Gamma = 5^X$ .

Очевидно, что по мере появления новых образцов и расширения базы данных, коэффициенты в зависимостях (8)...(21) могут уточняться, сама же методика расчета останется неизменной.

#### **Выводы.**

Разработанная методика габаритного расчета позволяет определить наилучшие значения основных характеристик телескопических прицелов с учетом эксплуатационных требований.

1. Справочник конструктора оптико-механических приборов, под ред. *Кругера М.Я.* и *Панова В.А.* - Л-д: «Машиностроение», 1967.- 760 с.
2. *Гурнович А.В., Сенаторов Н.В., Колобродов В.Г. и др.* Телескопические прицелы для стрелкового оружия // Артиллерийское и стрелковое вооружение: Междунар. науч.-тех. журнал. - Киев: НТЦ АСВ. – 2004.- № 3(12).- С.35-41.