

# Військово-технічні проблеми

УДК 629.072.19(075.8)

В.І. Грабчак, Ю.І. Бударецький, В.В. Прокопенко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

## ДЖЕРЕЛА ПОМИЛОК ТА ЇХ ВПЛИВ НА ТОЧНІСТЬ ПОВНОЇ ПІДГОТОВКИ СТРІЛЬБИ АРТИЛЕРІЇ

*В статті досліджується вплив різних джерел помилок на точність повної підготовки стрільби артилерії. Розглянутий вплив різних джерел помилок та математичні залежності, що дозволяють розрахувати серединні помилки у дальності повної підготовки для артилерійських систем. Надані результати розрахунків значень помилок та ваги окремих джерел помилок в дальності польоту снарядів 122-мм Г Д-30, 152-мм СГ 2С3М при визначенні умов для стрільби на ураження способом повної підготовки.*

**Ключові слова:** підготовка стрільби і управління вогнем, повна підготовка, джерела помилок, серединні помилки у дальності.

### Вступ

**Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури.** Вогневе ураження противника складає головний зміст бойових дій артилерійських підрозділів, при цьому вогонь артилерійських підрозділів повинен бути своєчасним і точним [1, 2].

У свою чергу точність вогню залежить від своєчасності, повноти та ретельності виконання заходів з підготовки та управління вогнем, від способу визначення установок для стрільби та можливості їх уточнення під час ведення вогню, що застосовується [2, 3]. Точність вогню знижується із зростанням помилок визначення установок для стрільби на ураження. Однак при зниженні точності до конкретних меж ефективність вогню може підтримуватися на необхідному рівні за рахунок зміни способу обстрілу цілі, залучення до стрільби більшої кількості гармат та збільшення витрат снарядів. Поряд з цим при рекомендованих способах обстрілу суттєві помилки у визначенні установок для стрільби по цілі не можна компенсувати великою кількістю гармат, що залучаються до стрільби, та снарядів, що витрачаються. Тому при виконанні вогневого завдання необхідно якісно та в найкоротший термін проводити всі заходи з підготовки стрільби і управління вогнем, застосовувати найточніші способи визначення установок для стрільби та здійснювати корегування вогню під час стрільби на ураження [2 – 4].

Важливим питанням підвищення точності визначення установок для стрільби артилерії є дослідження та оцінка впливу різних джерел помилок на величину сумарної помилки повної підготовки, що дозволяє обґрунтувати вимоги до точності визначення початкових даних, виробити рекомендації практичних прийомів і способів підвищення точності розрахунку установок та визначити пріоритетні

заходи щодо зменшення впливу кожного джерела на точність їх визначення.

**Метою статті** є дослідження впливу помилок на точність повної підготовки; визначення математичних залежностей, що дозволяють розрахувати серединні помилки по дальності та проведення розрахунків значень помилок у дальності польоту снарядів 122-мм Г Д-30, 152-мм СГ 2С3М, розрахунків „ваги” кожного із джерел у сумарній помилці підготовки при визначенні умов для стрільби на ураження способом повної підготовки.

### Основна частина

Визначення установок для стрільби здійснюється різними способами, які відрізняються порядком, повнотою і точністю врахування відхилень умов стрільби від їх табличних значень. Найбільш повне врахування умов стрільби і більш точне визначення параметрів, які їх характеризують, здійснюються при визначенні установок для стрільби способом повної підготовки. Виходячи зі змісту і послідовності визначення установок для стрільби способом повної підготовки виділяють наступні незалежні групи помилок [3 – 6]:

- помилки визначення положення цілі;
- помилки топогеодезичної прив'язки вогневої позиції;
- помилки метеорологічної підготовки;
- помилки балістичної підготовки;
- помилки технічної підготовки;
- помилки розрахунку установок для стрільби.

Таким чином, випадкові помилки підготовки установок для стрільби (випадкові відхилення центру розсіювання снарядів від точки прицілювання) в дальності можуть бути надані сумою незалежних випадкових помилок

$$X_d = X_{Ц} + X_{ТГ} + X_M + X_B + X_{пр} + X_{расч},$$

де  $X_i$  – випадкові помилки підготовки установок для стрільби по кожному з перелічених джерел помилок.

Помилки кожної з перерахованих груп помилок призводять до помилок визначення установок для стрільби та розподіляються за нормальним законом. Внаслідок симетричності нормального закону математичне очікування помилок кожної групи дорівнює нулю. Таким чином, розрахунок числових характеристик законів розподілення помилок кожної групи зводиться до визначення серединних помилок [4], які характеризують точність повної підготовки

$$E_X = \sqrt{E_{X_{Ц}}^2 + E_{X_{ТГ}}^2 + E_{X_M}^2 + E_{X_B}^2 + E_{X_{пр}}^2 + E_{X_{расч}}^2}, \quad (1)$$

де  $E_{X_{Ц}}$ ;  $E_{X_{ТГ}}$ ;  $E_{X_M}$ ;  $E_{X_B}$ ;  $E_{X_{пр}}$ ;  $E_{X_{расч}}$  – серединні помилки дальності внаслідок помилок відповідно до визначення положення цілі, топогеодезичної прив'язки вогневої позиції, метеорологічної підготовки, балістичної підготовки, технічної підготовки, розрахунку установок для стрільби.

Розглянемо вплив кожної групи помилок на дальність стрільби артилерійських систем.

*Помилки в дальності внаслідок помилок визначення положення цілі.* Сумарна помилка дальності внаслідок помилок визначення положення цілі [2, 3] зводиться до помилок у визначенні координат та висоти цілі

$$X_{Ц} = X_{КЦ} + X_{\delta h_{Ц}},$$

де  $X_{\delta h_{Ц}} = \delta h_{Ц} \operatorname{ctg} \theta_c$  – помилка визначення висоти цілі;  $\delta h_{Ц}$  – помилка у визначенні висоти цілі за картою, яка залежить від масштабу карти і крутизни скатів;  $\theta_c$  – кут падіння снаряда;  $X_{КЦ}$  – помилка визначення координат цілі.

Таким чином, серединна помилка дальності внаслідок помилок визначення координат і висоти цілі визначається

$$E_{X_{Ц}} = \sqrt{E_{КЦ}^2 + (E_{\delta h_{Ц}} \operatorname{ctg} \theta_c)^2}, \quad (2)$$

де  $E_{КЦ}$  – серединна кругова помилка визначення координат цілі;  $E_{\delta h_{Ц}}$  – серединна помилка визначення висоти цілі (в табл. 1 наведені величини серединних помилок визначення висоти цілі при умові, що точність нанесення цілі на карту характеризується круговою помилкою, яка дорівнює 0,5 мм до масштабу карти).

Точність визначення координат цілі визначається тими засобами, які застосовуються. Серединні помилки визначення координат цілі знаходяться в діапазоні:

Таблиця 1

Серединні помилки визначення висоти цілі

Масштаб карти	Серединна помилка (м) за умови крутизни скатів (град)					
	2 – 5	5 – 7	7 – 10	10 – 20	20 – 30	30 – 40
1 : 50000	2,9	4,0	7,6	9,3	12,0	16,0
1 : 100000	5,7	8,4	18,0	21,0	25,0	34,0

– при визначенні за допомогою карти (аерознімку) кругова серединна помилка знаходиться в межах  $15 \leq E_{Ц} \leq 200$ , м;

– при визначенні за допомогою технічних засобів розвідки –  $0,5\%D \leq E_{Ц} \leq 3\%D$ , м.

*Помилки в дальності внаслідок помилок топогеодезичної прив'язки вогневої позиції.* До цієї групи помилок відносяться:

– визначення координат та висоти вогневої позиції  $X_{ВП} = X_{КВП} + X_{\delta h_{ВП}}$ , джерела помилок яких аналогічні (2);

– помилки орієнтації гармати в основному напрямку  $X_{ОР}$ .

Помилка орієнтації гармати в основному напрямку  $X_{ОР}$  викликає помилку в положенні центру розсіювання снарядів за напрямком  $Z_{ОР} = 0,001D\delta_{ОР}$ , де  $\delta_{ОР}$  – помилка орієнтування гармати та не впливає на точність підготовки в дальності.

Виходячи з цього сумарна серединна помилка топогеодезичної прив'язки вогневої позиції буде дорівнювати

$$E_{X_{ТГ}} = \sqrt{E_{ВП}^2 + (E_{\delta h_{ВП}} \operatorname{ctg} \theta_c)^2}, \quad (3)$$

де  $E_{ВП}$  – серединна кругова помилка визначення координат вогневої позиції за умови використання різних способів топогеодезичної прив'язки;  $E_{\delta h_{ВП}}$  – серединна помилка визначення висоти вогневої позиції.

*Помилки в дальності внаслідок помилок метеорологічної підготовки.* Метеорологічні умови, в яких здійснюється рух снарядів при стрільбі, зазвичай відрізняються від умов, що визначаються за даними метеобюлетеня. Знаючи помилки, якими супроводжуються визначення метеорологічних умов стрільби за даними метеобюлетеня, не складно розрахувати, які ними викликаються в положенні центру розривів снаряда. Поправки на відхилення умов стрільби від табличних визначаються шляхом добутку величини відхилення даного фактора на табличну поправку, яка відповідає одиниці відхилення [1, 2, 4].

Сумарні помилки дальності внаслідок помилок визначення відхилень метеорологічних умов стрільби дорівнюють

$$X_M = X_{\delta W_X} + X_{\delta \Delta T} + X_{\delta \Delta H} = \\ = 0,1\Delta X_W \delta W_X + 0,1\Delta X_T \delta \Delta T + 0,1\Delta X_H \delta \Delta H,$$

де  $\Delta X_W$ ;  $\Delta X_T$ ;  $\Delta X_H$  – табличні поправки, які відповідають дальності стрільби, що досліджуються;  $\delta W_X$ ;  $\delta \Delta T$ ;  $\delta \Delta H$  – помилки визначення на момент стрільби складових балістичного вітру, балістичного відхилення температури повітря і відхилення тиску повітря.

Таким чином, серединна помилка дальності внаслідок помилок визначення відхилень метеорологічних умов стрільби визначається

$$E_{X_M} = \sqrt{(0,1\Delta X_W E_{\delta W_X})^2 + (0,1\Delta X_T E_{\delta \Delta T})^2 +} \\ + \sqrt{(0,1\Delta X_H E_{\delta \Delta H})^2}, \quad (4)$$

де  $E_{\delta W_X}$ ;  $E_{\delta \Delta T}$ ;  $E_{\delta \Delta H}$  – серединні помилки визначення відхилень величин метеорологічних факторів від їх табличних значень на момент стрільби.

*Похибки в дальності внаслідок помилок технічної підготовки.* До помилок технічної підготовки, які безпосередньо впливають на точність повної підготовки, відносяться помилки прицільних пристроїв, що виникають через виробничі помилки і допуски, наявність і вплив “мертвих” ходів механізмів прицілу і панорами, помилок вивірок прицільних пристроїв та інше [2,4].

Похибка в дальності внаслідок помилок технічної підготовки дорівнює

$$X_{\text{ТЕХ}} = \delta \Delta \varphi \Delta X_{\text{ТИС}},$$

де  $\delta \Delta \varphi$  – похибки прицільних пристроїв у вертикальній площині;  $\Delta X_{\text{ТИС}}$  – таблична поправка зміни дальності при зміні прицілу на 1 тисячу.

Відповідно до цього серединні помилки в дальності внаслідок похибок технічної підготовки визначаються

$$E_{X_{\text{ПР}}} = \sqrt{(E_{\delta \Delta \varphi} \Delta X_{\text{ТИС}})^2}, \quad (5)$$

де  $E_{\delta \Delta \varphi}$  – серединна помилка прицільних пристроїв у вертикальній площині, яка характеризується серединними помилками в межах 0,5-1 тис.

*Помилки в дальності внаслідок помилок балістичної підготовки.* Аналогічно з дією помилок метеорологічної підготовки сумарна помилка дальності внаслідок помилок балістичної підготовки дорівнює [2, 4, 7, 8]

$$X_B = X_{\delta \Delta V_0} + X_{\delta \Delta T_3} + X_H = \\ = \Delta X_{V_0} \delta \Delta V_0 + 0,1\Delta X_{T_3} \delta \Delta T_3 + X_{\text{СН}},$$

де  $X_{\delta \Delta V_0}$ ;  $X_{\delta \Delta T_3}$ ;  $X_{\text{СН}}$  – відповідно помилки визначення відхилення початкової швидкості снаряда, температури заряду та тиску повітря.

Серединна помилка дальності внаслідок помилок визначення відхилень балістичних умов стрільби визначається

$$E_{X_B} = \\ = \sqrt{(\Delta X_{V_0} E_{\delta V_0})^2 + (0,1\Delta X_{T_3} E_{\delta \Delta T_3})^2 + E_{X_{\text{СН}}}^2}, \quad (6)$$

де  $E_{\delta V_0}$ ,  $E_{\delta \Delta T_3}$  – серединні помилки визначення відхилень початкової швидкості снаряда та температури заряду;

$E_{X_{\text{СН}}} = 0,3\Delta X_H$ ,  $\Delta X_H$  – таблична поправка в дальності на зміну тиску повітря на 10 мм.

*Помилки в дальності внаслідок помилок розрахунку установок для стрільби.* Джерелами цих помилок є [1, 2, 4]:

– помилки визначення топографічних даних до цілі  $E_{X_{\text{ТД}}}$ ;

– помилки Таблиць стрільби  $E_{X_{\text{ТС}}}$ ;

– помилки визначення поправок з графіка розрахованих поправок  $E_{X_{\text{ГР}}}$  (при умові розрахунку установок методом послідовних наближень ці помилки відсутні);

– помилки округлень обчислень  $E_{X_{\text{ОК}}}$ .

Відповідно серединна помилка дальності внаслідок помилок розрахунку установок для стрільби дорівнює

$$E_{X_{\text{РАС}}} = \\ = \sqrt{E_{X_{\text{ТД}}}^2 + E_{X_{\text{ТС}}}^2 + E_{X_{\text{ГР}}}^2 + E_{X_{\text{ОК}}}^2}. \quad (7)$$

Проведений розрахунок сумарних помилок повної підготовки за формулами (2) – (7) для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30 наведені на рис. 1 – 3.

Із наведених даних можна зробити наступні висновки:

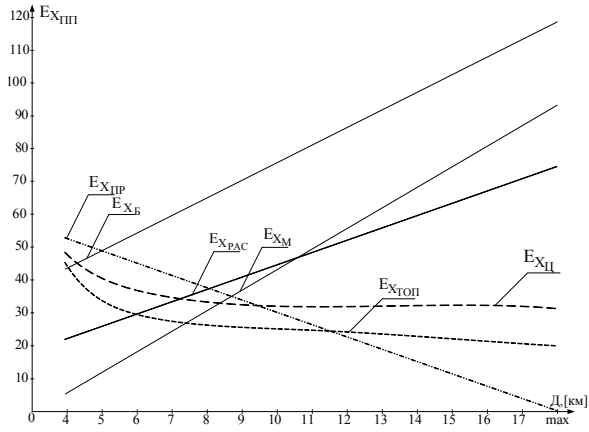
– вплив різних джерел помилок на точність повної підготовки залежить від дальності стрільби, артилерійської системи та номера заряду;

– при стрільбі на середні та великі дальності основний вплив на точність повної підготовки здійснюють помилки балістичної та метеорологічної підготовки;

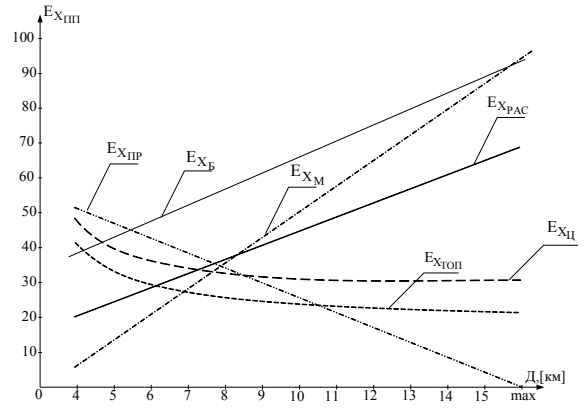
– помилки визначення положення цілі призводять до значних помилок при стрільбі на невеликі дальності і значно зменшуються зі збільшенням дальності стрільби;

– помилки топогеодезичної прив'язки вогневої позиції значно впливають на мінімальні дальності, зі збільшенням дальності стрільби, їх вплив порівняно незначний.

Оцінку впливу різних джерел помилок на величину сумарної помилки визначимо через частку („вагу”) кожного із джерел у сумарній помилці балістичної підготовки, яка являє собою відношення

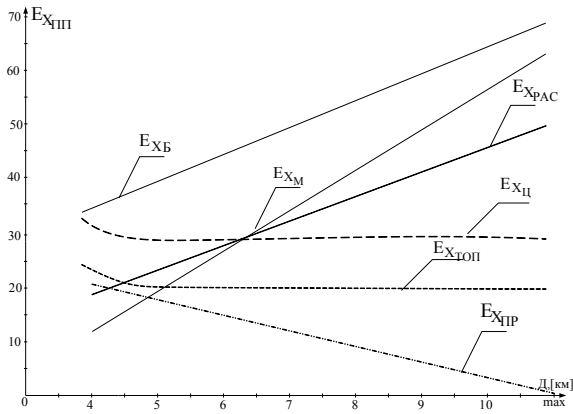


а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-54 заряд повний

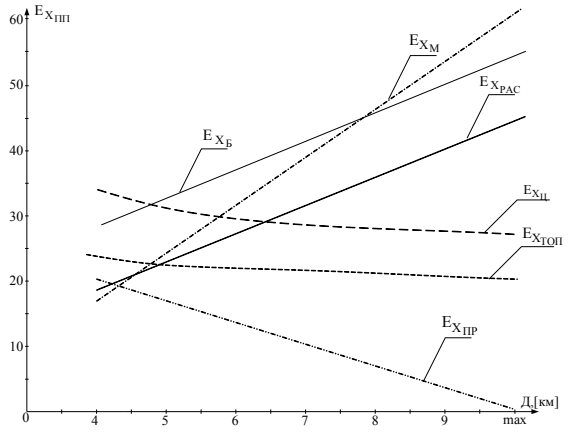


б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд повний

Рис. 1. Серединні помилки повної підготовки

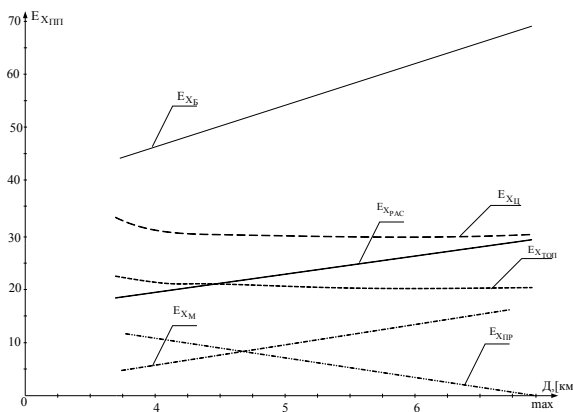


а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд третій

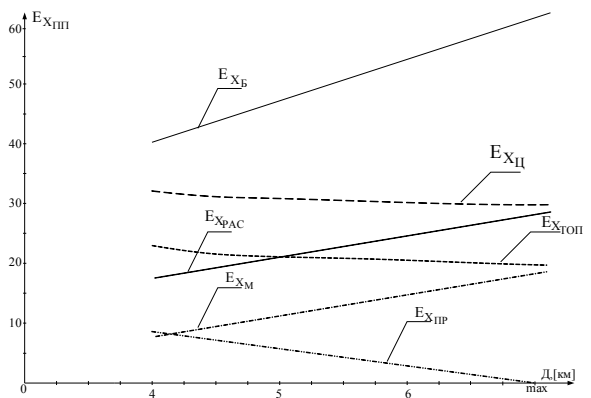


б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд другий

Рис. 2. Серединні помилки повної підготовки



а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд шостий



б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд четвертий

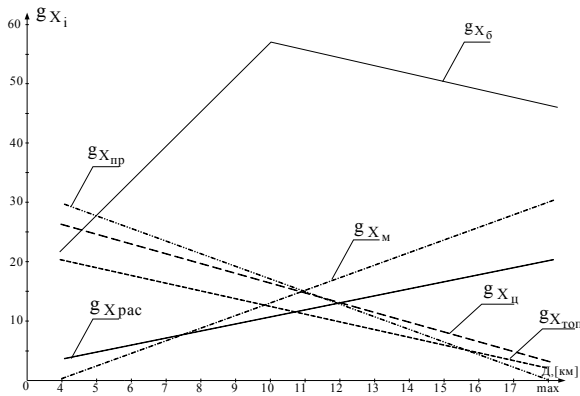
Рис. 3. Серединні помилки повної підготовки

квадрату серединної помилки цього джерела до квадрату сумарної серединної помилки балістичної підготовки

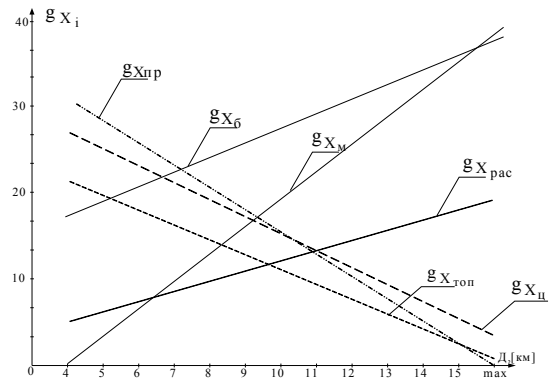
$$g_{x_i} = \frac{E_{x_i}^2}{E_x^2} \quad (8)$$

Проведений розрахунок ваги кожного із джерел у сумарній помилці повної підготовки за фор-

мулою (8) для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30 наведені на рис. 4 – 6.

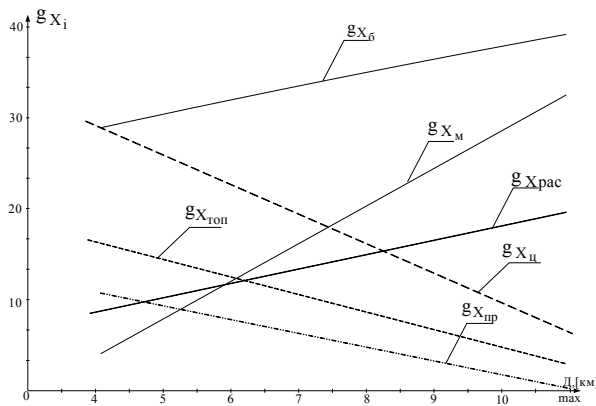


а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд повний

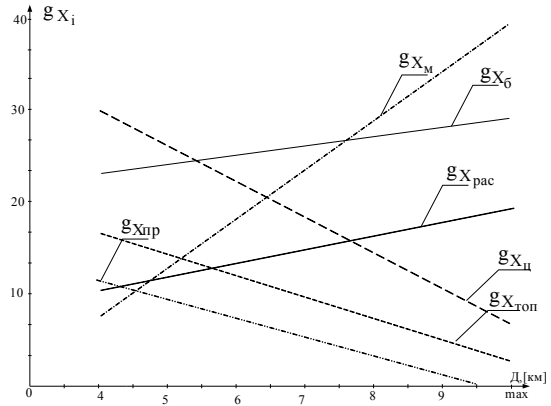


б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд повний

Рис. 4. Вага окремих джерел помилок повної підготовки

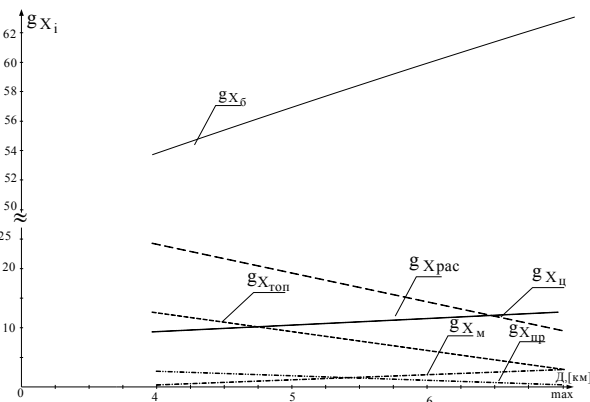


а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд третій

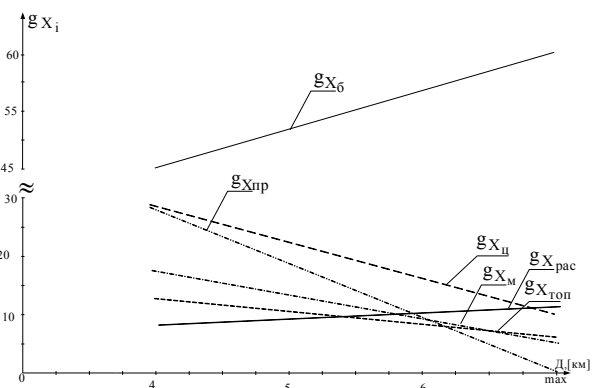


б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд другий

Рис. 5. Вага окремих джерел помилок повної підготовки



а – 152-мм СГ 2С3М, ОФ-540Ж, заряд шостий



б – 122-мм Г Д-30, ОФ-462Ж, заряд четвертий

Рис. 6. Вага окремих джерел помилок повної підготовки

З графіків бачимо, що:

– при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М та 122-мм ГД-30 на середні дальності помилка балістичної підготовки буде мати максимальне значення відповідно 56% та 46% загальної ваги помилок повної підготовки; при стрільбі на великі дальності помилка балістичної підготовки буде декілька зменшуватися і складатиме відповідно – 46% та 37%;

– помилка метеорологічної підготовки зростає зі збільшенням дальності стрільби та складає для 152-мм СГ 2С3М не більше 30%, а для 122-мм ГД-30 – 40% загальної ваги помилок;

– значну роль відіграють помилки топогеодезичної прив'язки у визначенні координат цілі в загальній вазі помилок повної підготовки тільки при стрільбі на мінімальні дальності;

– помилки в розрахунку установок для стрільби не перевищують 20% загальної ваги помилок повної підготовки.

### Висновки

У статті проведено дослідження впливу помилок визначення положення цілі, топогеодезичної прив'язки вогневої позиції, метеорологічної підготовки, балістичної підготовки та помилок розрахунку установок для стрільби на точність повної підготовки стрільби артилерії. Розглянутий їх вплив та приведені математичні залежності, що дозволяють розрахувати середні помилки у дальності повної підготовки для артилерійських систем. Надані результати розрахунків значень середніх помилок та визначена вага помилок у дальності польоту снарядів 122-мм Г Д-30, 152-мм СГ 2С3М при визначенні умов для стрільби на поразку способом повної підготовки.

Проведені розрахунки показують, що основними джерелами, які вносять найбільшу частку в сумарну помилку повної підготовки на середні та мак-

симальні дальності, є помилки балістичної та метеорологічної підготовки. Так, при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30 помилки балістичної підготовки складатимуть 46 – 56% загальної ваги помилок повної підготовки; помилки метеорологічної підготовки: 37 – 46%.

Таким чином, перспективним напрямом у підвищенні точності повної підготовки є розробка сучасних методів і засобів балістичної та метеорологічної підготовки, які дозволять суттєво зменшити їх помилки.

### Список літератури

1. Теория стрельбы наземной артиллерии / под ред. А.И. Матвеева. – Л.: Военная артиллерийская Академия, 1966. – 521 с.
2. Теоретические основы стрельбы наземной артиллерии / под ред. А.С. Круковского. – М.: Министерство обороны СССР, 1976. – 345 с.
3. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии / под ред. В.И. Волобуева. – М.: Воениздат, 1987. – 376 с.
4. Стрельба наземной артиллерии / Под ред. В.И. Колесова. – М.: Воениздат, 1969. – 367 с.
5. Правила стрельбы и управления вогнем наземной артиллерии: группа, дивізіон, батарея, взвод, гармата / В.М. Рябоконь, П.Й. Руденко, П.В. Полениця, О.В. Смірнов. – К.: Міністерство оборони, 2008. – 232 с.
6. Посібник з вивчення правил стрільби і управління вогнем наземної артилерії: група, дивізіон, батарея, взвод, гармата: навч. посіб. – Львів: ЛІСВ, 2009. – 365 с.
7. Макеев В.И. Баллистическая подготовка стрельбы / В.И. Макеев, А.М. Куренков, П.В. Поленица. – Суми: СВАКУ, 1989. – 105 с.
8. Балістична підготовка стрільби, методи і засоби її удосконалення / В.І. Макеев, М.М. Ляпа, В.М. Петренко, В.Є. Житник. – Суми: СумДУ, 2008. – 160 с.

Надійшла до редколегії 12.08.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, ст. наук. співр. А.М. Зубков, Академія сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного, Львів.

### ИСТОЧНИКИ ОШИБОК И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ТОЧНОСТЬ ПОЛНОЙ ПОДГОТОВКИ СТРЕЛЬБЫ АРТИЛЛЕРИИ

В.И. Грабчак, Ю.И. Бударецкий, В.В. Прокопенко

*В статье исследуется влияние разных источников ошибок на точность полной подготовки стрельбы артиллерии. Рассмотрено влияние разных источников ошибок и математические зависимости, которые позволяют рассчитать средние ошибки в дальности полной подготовки для артиллерийских систем. Представлены результаты расчетов значений ошибок и веса отдельных источников ошибок в дальности полета снарядов 122-мм Г Д-30, 152-мм СГ 2С3М при определении условий для стрельбы на поражение способом полной подготовки.*

**Ключевые слова:** подготовка стрельбы и управление огнем, полная подготовка, источники ошибок, средние ошибки в дальности.

### SOURCES OF ERRORS AND THEIR INFLUENCE ON ACCURACY OF COMPLETE PREPARATION ARTILLERY OF FIRING

V.I. Grabchak, U.I. Budaretskyi, V.V. Prokopenko

*In the article influence of different sources of errors on accuracy of complete preparation artillery of firing is investigated. Influence of different sources of errors and mathematical relations that allow to estimate mean errors in distance of complete preparation for the artillery systems is considered. Results of calculations of values of errors and weight of separate sources of errors are in distance of flight of projectiles of 122-mm Howitzer D-30, 152-mm of Self-propelled howitzer of 2С3М at determination of terms for firing for engagement by means of complete preparation are presented.*

**Keywords:** preparation of firing and fire-control, complete preparation, sources of errors, mean errors in distance.