

УДК 623.546

В.І. Грабчак, С.В. Бондаренко

Академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

ОБґРУНТУВАННЯ ВИМОГ ДО ТОЧНОСТІ СКЛАДАННЯ ТАБЛИЦЬ СТРІЛЬБИ

У статті досліджуються вимоги до складання Таблиць стрільби наземної артилерії, визначається точність їх розрахунку в залежності від точності розрахунку установок для стрільби способом повної підготовки. Наведені результати розрахунків сумарної серединної похибки повної підготовки та точність її визначення в залежності від дальності стрільби для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30. Визначається необхідне число стрільб та розхід снарядів для забезпечення потрібної точності стрільби на дальність.

Ключові слова: таблиці стрільби, повна підготовка, сумарна серединна похибка, дальність стрільби, число стрільб та розхід снарядів.

Вступ

Постановка проблеми в загальному вигляді та аналіз літератури. Аналіз стану та перспектив розвитку артилерії в сучасному бою показує, що точність нанесення вогневого удару суттєво залежить від точності розрахунку траєкторій польоту снарядів і відповідно Таблиць стрільби артилерійських систем [1, 2]. При розрахунках траєкторій польоту снарядів, що розроблюються та модернізуються, їх конструюванні та випробуванні значна увага приділяється питанням дослідження та визначення їх аеродинамічних характеристик [3, 4]. Існуючі підходи щодо розрахунку аеродинамічних характеристик охоплюють весь спектр від натурних випробувань (метод стрільб), випробувань моделей снарядів в аеродинамічних трубах до кінцеворізницевих схем чисельного рішення рівнянь з частковими похідними [3 – 6].

Основним недоліком експериментальних підходів є значна їх затратність та необхідність використання значної кількості вимірювальних засобів та іншого устаткування. Значними темпами розвиваються теоретичні – математичні (чисельні) методи розрахунку сили аеродинамічного опору повітря, однак, як правило, рішення завдання руху снарядів, особливо складної форми, в'язкого теплопровідного неоднорідного газу без суттєвих спрощень і допущень не вирішується, при цьому похибки розрахунків можуть суттєво впливати на вирішення задач розрахунку траєкторії польоту снарядів [7, 8].

Перспективним напрямом в розвитку методів визначення характеристик аеродинамічної сили є напівемпіричний підхід, який заснований на апроксимація її функціями, які можливо описати аналітичними виразами на основі отриманих експериментальних даних практичних стрільб, що не вимагає значного устаткування і вирішується за допомогою використання ЕОМ [9].

Важливішим практичним додатком теоретичних положень визначення сили аеродинамічного

опору повітря є використання їх для складання Таблиць стрільби.

Таблиці стрільби повинні мати достатньою точність. Для визначення необхідної точності Таблиць потрібно виходити з точності підготовки вихідних установок для стрільби [1, 10]. Помилка Таблиць не повинна суттєво збільшувати сумарну помилку підготовки. Найбільш важливим елементом Таблиць стрільби є повна горизонтальна дальність, яка визначається при складанні Таблиць стрільби в залежності від кута кидання. Точність, з якою встановлена ця залежність, зазвичай називають точністю Таблиць стрільби, яка залежить від похибок визначення опорних дальностей та від похибок обчислення табличних дальностей.

Метою статті є визначення необхідної точності розрахунку Таблиць стрільби та необхідного числа стрільб та розхід снарядів для забезпечення потрібної точності стрільби на дальність.

Основна частина

Визначення необхідної точності розрахунку Таблиць стрільби. Установки для стрільби визначають 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, простежуються під час визначення установок для стрільби способом повної підготовки (ПП). Відповідно до змісту і послідовності визначення установок для стрільби способом ПП виділяють такі незалежні групи похибок [10, 11]:

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

Сумарна серединна похибка визначення установок для стрільби в дальності способом ПП визначається як [11]

$$E_{X_{III}} = \sqrt{E_{X_{Ц}}^2 + E_{X_{ТП}}^2 + E_{X_M}^2 + E_{X_B}^2 + E_{X_{Пр}}^2 + E_{X_{Роз}}^2}, \quad (1)$$

де $E_{X_{Ц}} = \sqrt{E_{Ц}^2 + (E_{\delta_{h_{Ц}}} \operatorname{ctg} \theta_c)^2}$ – серединна похибка в дальності внаслідок похибок визначення положення цілі; $E_{Ц}$ – серединна кругова похибка визначення координат цілі; $E_{\delta_{h_{Ц}}}$ – серединна похибка визначення висоти цілі; θ_c – кут падіння снаряда; $E_{X_{ТП}} = \sqrt{E_{ВП}^2 + (E_{\delta_{h_{ВП}}} \operatorname{ctg} \theta_c)^2}$ – серединна похибка в дальності внаслідок похибок топогеодезичної прив’язки вогневої позиції; $E_{ВП}$ – серединна похибка визначення координат вогневої позиції за умови використання різних способів топогеодезичної прив’язки; $E_{\delta_{h_{ВП}}}$ – серединна похибка визначення висоти вогневої позиції;

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

серединна похибка в дальності внаслідок похибок метеорологічної підготовки; ΔX_W , ΔX_T , ΔX_H – табличні поправки в дальності на відхилення повздовжнього вітру швидкості, температури повітря, тиску повітря відповідно; $E_{\delta_{W_X}}$, $E_{\delta_{\Delta T}}$, $E_{\delta_{\Delta H}}$ – серединні похибки визначення відхилень величин метеорологічних факторів від їх табличних значень на момент стрільби;

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

серединна похибка в дальності внаслідок похибок БП;

$E_{\delta_{V_0}}$, $E_{\delta_{\Delta T_3}}$ – серединні похибки визначення відхилень V_0 і температури заряду;

$E_{X_{СН}} = 0,3\Delta X_H$, ΔX_H – таблична поправка в дальності на зміну тиску повітря;

$$E_{X_{Роз}} = \sqrt{E_{X_{ТД}}^2 + E_{X_{ТС}}^2 + E_{X_{ТР}}^2 + E_{X_{ОК}}^2}$$

– серединна похибка в дальності внаслідок похибок розрахунку установок для стрільби; $E_{X_{ТД}}$ – похибки визначення топографічних даних до цілі; $E_{X_{ТС}}$ – похибки Таблиць стрільби; $E_{X_{ТР}}$ – похибки визначення поправок з графіка розрахованих поправок (якщо установки розраховують методом послідовних наближень, то цих похибок немає); $E_{X_{ОК}}$ – похибки округлень обчислень. Сумарну похибку в дальності за рахунок помилок ППІ та похибку Таблиць стрільби можна обчислити за формулою [12]

$$E_C = \sqrt{E_{III}^2 + E_T^2}, \quad (2)$$

де E_{III} – серединна похибка в дальності за рахунок похибки підготовки вихідних установок, без обліку похибок Таблиць стрільби; E_T – серединна похибка

в дальності за рахунок похибки розрахунків Таблиць стрільби.

Відносне збільшення сумарної похибки в дальності за рахунок похибок Таблиць стрільби у відсотках

$$E_C^{ВІД} = \frac{E_C - E_{III}}{E_{III}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

наведено в табл. 1.

Таблиця 1
Відносне збільшення сумарної похибки в дальності за рахунок похибок Таблиць стрільби

$E_{III} \backslash E_T$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8
0,6	5,40	11,84	20,18	30,17	41,42	66,67
0,8	3,07	6,80	11,80	17,92	25,0	41,42
1,0	1,98	4,40	7,70	11,80	16,62	28,06
1,5	0,88	1,98	3,49	5,41	7,70	13,33
2,0	0,50	1,12	1,98	3,08	4,40	7,70
3,0	0,22	0,50	0,88	1,40	1,98	3,49
4,0	0,12	0,28	0,50	0,79	1,12	1,98

З наведених даних видно, що за умови існуючої точності ППІ точність Таблиць стрільби порядку $0,4 \div 0,5\%$ дальності стрільби (Д) не може суттєво збільшити сумарну помилку ППІ. Якщо точність ППІ буде підвищена до $0,5 \div 0,7\%$ Д, то необхідно вимагати від Таблиць стрільби точності порядку $0,3\%$.

Розрахунки сумарної серединної похибки ППІ та її складових за формулою (1) для 152-мм СГ 2С3М, снаряд ОФ-540Ж та 122-мм Г Д-30, снаряд ОФ-462Ж наведено на рис. 1 [11, 13, 14].

Із наведених даних можна зробити такі висновки:

– вплив різних джерел похибок на точність ППІ залежить від дальності стрільби, артилерійської системи та величини заряду;

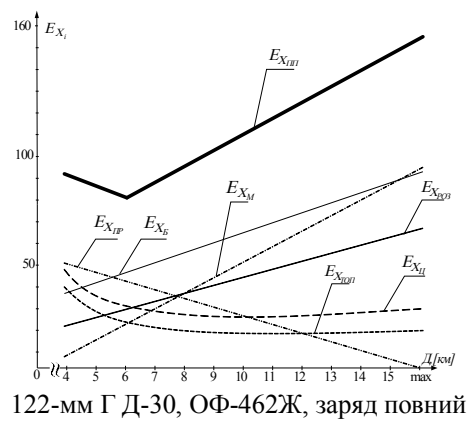
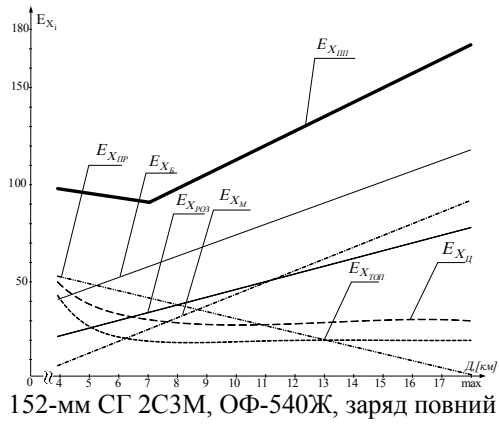
– під час стрільби на середні та великі дальності основний вплив на точність ППІ здійснюють похибки балістичної та метеорологічної підготовки;

– сумарна серединна похибка ППІ збільшується зі збільшенням дальності стрільби та величини заряду;

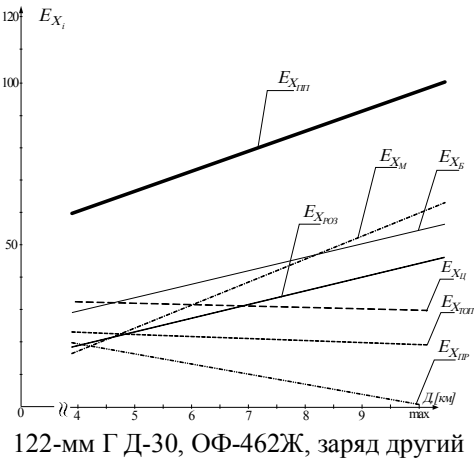
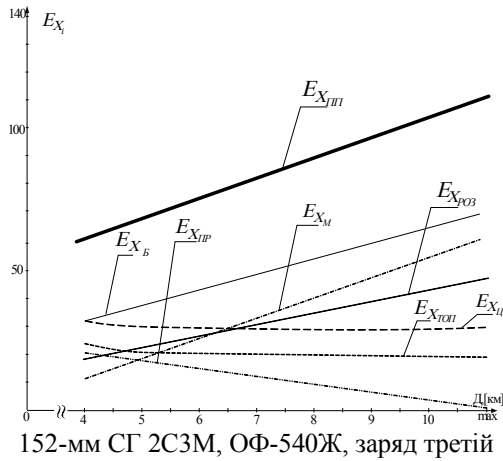
– значення сумарної серединної похибки ППІ для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30 знаходиться в межах від 60 до 170 м.

На рис. 2 наведені точнісні значення розрахунку установок для стрільби способом ППІ у залежності від дальності стрільби для 152-мм СГ 2С3М, снаряд ОФ-540Ж та 122-мм Г Д-30, снаряд ОФ-462Ж.

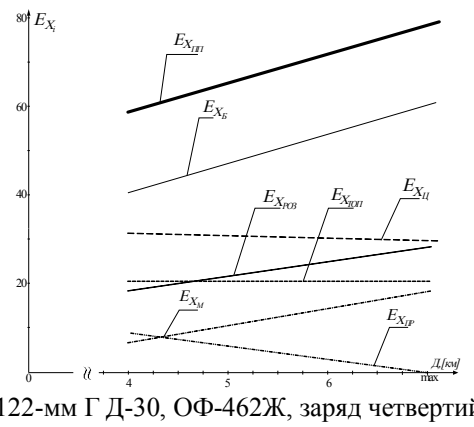
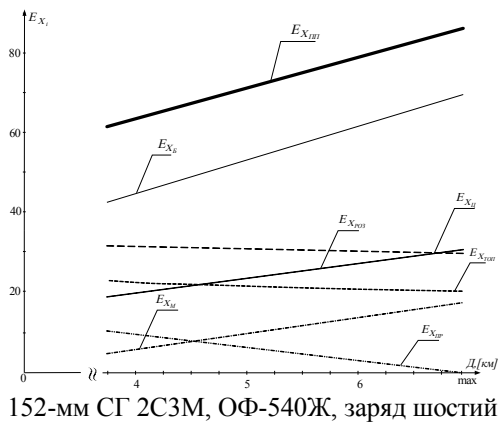
– Аналіз наведених графіків показує, що при стрільбі з 152-мм СГ 2С3М точність розрахунку установок для стрільби на мінімальні дальності складає $1,3 \div 2,5\%$ Д, на максимальні дальності – $0,9 \div 1,1\%$ Д, відповідно при стрільбі з 122-мм Г Д-30 – $1,4 \div 2,4\%$ Д та $0,9 \div 1,0\%$ Д, що відповідає достатній точності розрахунку Таблиць – $0,4 \div 0,5\%$ Д.



а



б



в

Рис. 1. Серединні похибки повної підготовки

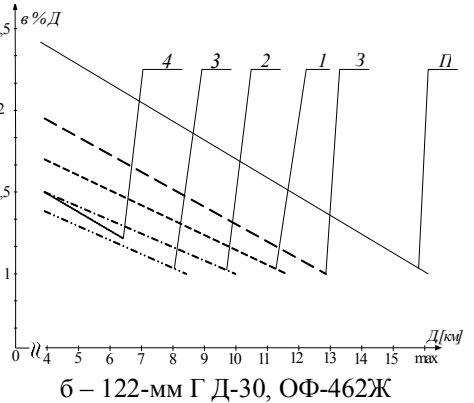
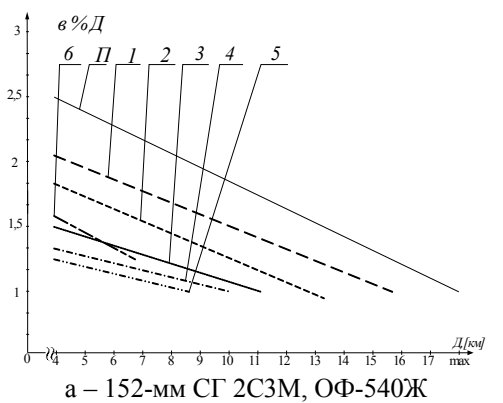


Рис. 2. Точність визначення установок для стрільби способом ПП (П, 1÷6 – відповідно повний, перший – шостий заряди)

Визначення необхідного числа стрільб і розхід снарядів для забезпечення потрібної точності стрільби на дальність. При першому розгляді цього питання можливо прийняти те, що чим більша кількість снарядів буде витрачена, тим більша точність результату буде отримана. Однак при деякому заданому розході снарядів ефективність стрільб буде різною в залежності від того, скільки окремих стрільб буде проведено. Це пояснюється різним характером похибок, які супроводжують стрільбу.

Похибки, які супроводжують стрільбу на дальність, можна поділити на дві основні групи [11, 12].

Перша група. Похибки випадкові, які змінюють свою величину і напрямком від пострілу до пострілу. Вони залежать від ряду причин:

- неоднорідності наведення;
- розкиду початкових швидкостей та ваги снарядів;
- розкид початкових умов положення центру мас снарядів, значень моментів інерції;
- різноманітності посадки ведучих поясів;
- поривів вітру під час польоту снарядів та ін.

Усі ці фактори визначають розсіювання снарядів і характеризуються величиною $B\delta$.

Друга група. Похибки, які повторюються для всіх пострілів за даною стрільбою, але змінюють свою величину і напрямком при різних стрільбах. До них слід віднести похибки:

- визначення початкової швидкості та метеорологічних елементів;
- визначення кута кидання;
- обчислювання поправок для приведення даних стрільб до нормальних (табличних) умов та ін.

Ці похибки, які є постійними для даної стрільби, приймемо як похибку стрільби ϵ_X .

За умови існування похибок першої групи то необхідності в проведенні повторних стрільб не було б. Для підвищення точності результату достатньо було б збільшити число снарядів у стрільбі. Наявність похибок другого роду вимагає організувати і проводити повторні стрільби. Точність визначення дальності за результатами однієї стрільби може бути розрахована за формулою [1]

$$E_X = \sqrt{\frac{B\delta^2}{n} + \epsilon_X^2}, \quad (4)$$

де n – число пострілів, $\frac{B\delta}{n}$ – середина похибка визначення дальності за даною групою з n пострілів.

Результати експериментальних стрільб показують, що середина похибка ϵ_X коливається в межах $0,1 \div 0,8\%$ Д [11, 12], в подальших розрахунках приймемо $\epsilon_X = 0,3\%$ Д [11]. У табл. 2 наведені розрахунки за формулою (4), в залежності від розсіювання снарядів та числа пострілів у групі.

З наведених даних (табл. 2) можна зробити висновки, що при малих значеннях $B\delta$ число пострілів в групі несуттєво впливає на точність визначення дальності.

Таблиця 2
Значення серединної похибки визначення дальності за результатами однієї стрільби, ($\epsilon_X = 0,3\%$ Д)

$n \backslash B\delta, \% \text{ Д}$	0,3	0,5	1,0
3	0,346	0,412	0,650
5	0,329	0,374	0,395
7	0,321	0,355	0,370
10	0,316	0,339	0,351
20	0,307	0,319	0,326
50	0,303	0,308	0,311
100	0,302	0,303	0,305

Для підвищення точності визначення дальності, доречно повторювати стрільби за тих самих умов N разів. При цьому буде досягнуто зменшення серединної похибки визначення дальності у \sqrt{N} разів [1]. У цьому випадку середина похибка визначення дальності за результатами N стрільб дорівнює

$$E_{X_N} = \sqrt{\frac{B\delta^2}{Nn} + \frac{\epsilon_X^2}{N}}, \quad (5)$$

де N – число окремих стрільб.

Величину $B\delta$ в середньому можна прийняти рівною $D/200$, тобто $0,5\%$ Д [1, 11]. У табл. 3. наведені величини серединної похибки визначення дальності (E_{X_N}) для різного числа пострілів в даній стрільбі n та різного числа окремих стрільб N , за умови $B\delta = 0,5\%$ Д, $\epsilon_X = 0,3\%$ Д.

Таблиця 3
Значення серединної похибки визначення дальності за результатами N стрільб, ($B\delta = 0,5\%$ Д, $\epsilon_X = 0,3\%$ Д)

$n \backslash N$	1	2	3	4	5	10
3	0,412	0,292	0,238	0,206	0,184	0,130
5	0,374	0,265	0,216	0,187	0,167	0,118
7	0,355	0,251	0,205	0,178	0,159	0,112
10	0,339	0,240	0,196	0,170	0,152	0,108
20	0,319	0,226	0,184	0,160	0,143	0,100
50	0,308	0,218	0,178	0,154	0,138	0,097
100	0,303	0,214	0,175	0,152	0,135	0,095

З наведених даних табл. 3 видно, що для зменшення сумарної похибки визначення дальності за однаковому розході снарядів необхідно збільшувати число окремих стрільб, ніж число пострілів у групі, так, при трьох стрільбах по 7 снарядів у групі похибки дальності ($E_{X_3} = 0,205\%$ Д) отримуються значно менше, ніж при одній стрільбі з розходом у 20 снарядів ($E_{X_1} = 0,319\%$ Д), чи навіть з розходом у 50 снарядів ($E_{X_1} = 0,308\%$ Д).

Висновки

У статті наведені дослідження вимог до складання Таблиць стрільби наземної артилерії, обґрунтовано: точність їх розрахунку в залежності від точності розрахунку установок для стрільби способом ПП; необхідне число стрільб та розхід снарядів для забезпечення потрібної точності стрільби на дальність.

Наведені результати розрахунків сумарної середньої похибки повної підготовки та точність її визначення в залежності від дальності стрільби для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30 показали, що значення сумарної середньої помилки ПП для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30 знаходиться в межах $60 \div 170$ м, відповідно точність визначення установок для стрільби способом ПП коливається в межах $0,9 \div 2,4$ % Д, що відповідає достатній точності розрахунку Таблиць – $0,4 \div 0,5$ % Д.

Визначення необхідного числа стрільб і розхід снарядів для забезпечення потрібної точності стрільби на дальність показали, що та сама точність значень дальності може бути досягнута за різних комбінацій чисел n пострілів у групі та числі повторень груп N окремих стрільб. З одного боку, надається перевага варіанту, коли число n мінімально (менша кількість пострілів відбувається за менший час, відповідно менша ймовірність зміни метеорологічних умов і балістичних характеристик ствола гармати). Але з іншого, за умов малого числа окремих стрільб низька надійність і точність отримання середньої похибки. Проведені дослідження потрібної точності стрільби на дальність, рекомендують проведення триразових стрільб на дальність з розходом 5-7 снарядів при одній стрільби.

Список літератури

1. Дмитриевский А.А. Внешняя баллистика / А.А. Дмитриевский, Л.Н. Лисенко. – М.: Машиностроение, 2005. – 607 с.

2. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии. – М.: Воениздат, 1987. – 376 с.

3. Аэродинамика баллистического полета / Ю.М. Липицкий, А.В. Красильников, А.Н. Покровский, В.Н. Шманенков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 176 с.

4. Аржаников Н.С. Аэродинамика летательных аппаратов / Н.С. Аржаников, Г.С. Садекова. – М.: Высшая школа, 1983. – 359 с.

5. Харитонов А.М. Техника и методы аэрофизического эксперимента. Ч.1. Аэродинамические трубы и газодинамические установки / А.М. Харитонов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. – 220 с.

6. Краснов Н.Ф. Аэродинамика отрывных течений / Н.Ф. Краснов, В.Н. Кошевой, В.Т. Калугин [под ред. Н.Ф. Краснова]. – М.: Высш. шк., 1988. – 351 с.

7. Шевелев Ю.Д. Пространственные задачи вычислительной аэрогидродинамики / Ю.Д. Шевелев. – М.: Наука, 1986. – 368 с.

8. Калиткин Н.Н. Численные методы / Н.Н. Калиткин. – М.: Наука, 1978. – 512 с.

9. Грабчак В.І. Аналіз існуючих та перспективних методів визначення сили опору повітря руху снарядів / В.І. Грабчак, С.В. Бондаренко // Військово-технічний збірник. – Львів: АСВ. – 2013. – Вип. 2 (9). – С. 13-19.

10. Грабчак В.І. Джерела помилок та їх вплив на точність повної підготовки стрільби артилерії / В.І. Грабчак, Ю.І. Бударецький, В.В. Прокопенко // Системи озброєння і військова техніка. – Х.: ХУПС. – 2011. – Вип. 3 (27). – С. 2-7.

11. Теоретические основы стрельбы наземной артиллерии [под ред. А.С. Круковского]. – М.: Министерство обороны СССР, 1976. – 345 с.

12. Подготовка стрельбы и управления огнем артиллерии [под ред. В.И. Волобуева]. – М.: Воениздат, 1987. – 376 с.

13. Таблицы стрельбы 122-мм гаубицы Д-30 / [авт. текста Р.А. Кулаковский]. – М.: Воен. Издательство, 1984. – 224 с.

14. Таблицы стрельбы 152-мм самоходной гаубицы 2С3 (2С3М) / [авт. текста Н.П. Рослова]. – М.: Воен. издательство. 1984. – 216 с.

Надійшла до редколегії 10.12.2013

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

ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ТОЧНОСТИ СОСТАВЛЕНИЯ ТАБЛИЦ СТРЕЛЬБЫ

В.И. Грабчак, С.В. Бондаренко

В статье исследуются требования до составления Таблиц стрельбы наземной артиллерии, определяется точность их расчетов в зависимости от точности расчета установок для стрельбы способом полной подготовки. Наведены результаты расчетов суммарной средней ошибки полной подготовки и точность её определения в зависимости от дальности стрельбы для 152-мм СГ 2С3М та 122-мм Г Д-30. Определяется необходимое число стрельб и расход снарядов для обеспечения необходимой точности стрельбы на дальность.

Ключевые слова: Таблицы стрельбы, полная подготовка, суммарная средняя ошибка, дальность стрельбы, число стрельб та расход снарядов.

GROUNDING FOR THE REQUIREMENTS TO THE ACCURACY OF ARTILLERY RANGE TABLES COMPILATION

V.I. Hrabchak, S.V. Bondarenko

Requirements to the field artillery range tables compilation are investigated in the article; accuracy of their calculation, depending on the calculations of accuracy of fire mission settings by means of full preparation is defined. Results of the full preparation mean absolute error calculations are given, as well as accuracy of its determination depending on the range of fire for the 152mm Self-propelled howitzer 2С3М and 122mm howitzer Д-30. Required number of firing operations and projectile expenditure is defined in order to provide necessary accuracy for range firing.

Keywords: artillery range tables, full preparation, mean absolute error, firing range, number of firing operations and projectile expenditure.