

**МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВРЕМЕНИ БЕЗОПАСНОГО НАХОЖДЕНИЯ
АРТИЛЛЕРИЙСКОГО ВЫСТРЕЛА В РАЗОГРЕТОМ СТВОЛЕ**

**METHODS FOR ESTIMATING THE TIME OF SAFE FINDING
OF AN ARTILLERY SHOT IN A HEATED BARREL**

А.А. Идрис¹, канд. техн. наук С.А. Мешков²

A.A. Idris, Ph.D. S.A. Meshkov

¹Михайловская военная артиллерийская академия, ²БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова

Рассмотрены существующие методы и способы оценки времени безопасного нахождения артиллерийского выстрела (АВ) в стволе артиллерийского орудия, разогретого стрельбой. Указано на недостатки существующего расчетного метода, а также объективные сложности применения экспериментального метода для назначения времени безопасного нахождения АВ в разогретом стволе. Установлены объективные отличия в получении оценок показателя безопасности указанными методами. Определены направления для разработки нового способа физического моделирования состояния артиллерийской системы, при котором время потери термостабильности пиротехнических составов или взрывчатых веществ, входящих в состав теплового макета, гарантированно не превысит ожидаемое время потери их термостабильности в стволе артиллерийского орудия после осуществления стрельбы с заданным режимом ведения огня.

Ключевые слова: артиллерийская система, ствол, нагрев ствола, безопасность, артиллерийский выстрел.

The existing methods and methods for estimating the time of safe finding of an artillery shot (AB) in the barrel of an artillery gun heated by firing are considered. The disadvantages of the existing calculation method are pointed out, as well as the objective difficulties of using the experimental method to assign the time of safe finding of an AB in a heated barrel. Objective differences in obtaining estimates of the safety indicator by these methods have been established. The directions for the development of a new method of physical modeling of the state of the artillery system have been determined, in which the time of loss of thermal stability of pyrotechnic compounds or explosives included in the thermal layout is guaranteed not to exceed the expected time of loss of their thermal stability in the barrel of an artillery gun after firing with a given firing mode.

Keywords: artillery system, barrel, barrel heating, safety, artillery shot.

Вводная часть

Одной из тенденций в развитии современных артиллерийских орудий (АО), во многом определяющей эффективность их применения по назначению, является тенденция к повышению скорострельности, численные значения

которой для современных и перспективных артиллерийских систем могут составлять от 10 до 12 и более выстрелов в минуту, что вполне допускает использование таких АО для решения поставленных огневых задач (далее ОЗ) в более нагруженных (по сравнению с базовыми) режимах стрельбы. Таким образом, возникает объек-

тивная необходимость в повышении уровня существующих требований к надежности и безопасности функционирования всех компонентов артиллерийских систем, в том числе перспективных, что определяет актуальность исследований в области разработки специальных методов, способов, методик, а также технологий проведения испытаний, направленных на обеспечение безаварийной работы орудийных расчетов.

Основная часть

В артиллерии под «режимом огня» понимается любая последовательность выстрелов, ограниченная объемом, темпом и временем стрельбы. Повышение интенсивности выполнения поставленных ОЗ позволяет сделать допущение о возможности более частого функционирования существующих и перспективных АО в режимах, близких к предельным, при которых в соответствии с тактико-техническими заданиями на некоторые виды орудий допустимо нагревание материала ствола до температуры 350–400 °С, а жидкости в противооткатных устройствах более 100 °С (рис. 1) [1]. Кроме того, в процессе выстрела каморная часть ствола также подвергается наиболее длительному тепловому воздействию пороховых газов, что определяет высокий уровень ее разогрева при стрельбе (до 180 °С).

Указанные обстоятельства являются существенно ограничивающими факторами для режима огня и тесно связаны с необходимостью обеспечения комплекса требований по надежному функционированию всех систем и устройств орудия, способностью артиллерийской системы выполнять длительные стрельбы без ухудшения

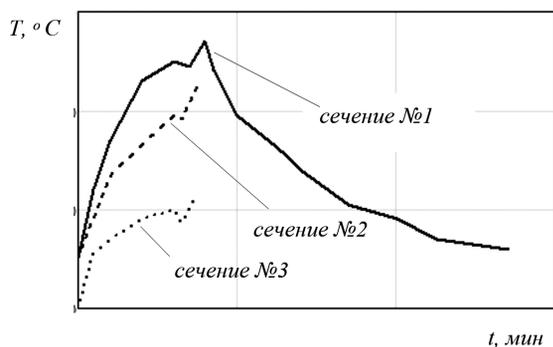


Рис. 1. Общий вид зависимостей температуры нагрева и остывания материала ствола в различных сечениях от времени стрельбы

характеристик безопасности, прочности, живучести всех ее элементов.

Случаи отказа элементов материальной части орудий при режимной стрельбе обуславливают возможность возникновения аварийной ситуации при некоторых обстоятельствах, возникающих во время длительного ведения огня, и сопутствующему этому существенному разогреву ствола [2]. Такими обстоятельствами могут быть следующие:

- осечки, после которых допускается трехкратное взведение затвора и, в последующем, обязательная выдержка боеприпаса в канале ствола, с определённой длительностью, до перезарядки;
- неисправности клино-затворной группы, не позволяющие открыть затвор и извлечь артиллерийский выстрел или его боевой заряд;
- существенный нагрев каморной части ствола и гильзы, во многом влияющий на процесс ее экстракции.

Кроме того, угроза возникновения аварийной ситуации может возникнуть по причине поступления команды на отмену выполнения огневой задачи после очередного заряжания артиллерийского выстрела.

Следствием указанных недостатков является нахождение снаряжённого выстрела в разогретом стволе, при котором воздействия возникающих температурных полей на пороха и взрывчатые вещества (далее ВВ), особенно инициирующие, входящие в состав выстрела, могут привести к их срабатыванию.

Практика эксплуатации минометного вооружения и артиллерийских орудий безгильзового заряжания также указывает на возможность возникновения опасности самовоспламенения заряда и преждевременного срабатывания боеприпаса в указанных условиях. Для орудий гильзового заряжания из-за экранирующего действия гильзы нагрев стенок зарядной каморы не столь интенсивен, однако характерные для этих орудий высокий темп и существенно более жёсткие режимы стрельбы создают условия, при которых могут иметь место те же отрицательные последствия.

В сложившейся к настоящему времени практике испытаний артиллерийских орудий и выстрелов к ним вопросы безопасности исследуются:

- расчетным путем на основе исследования температурных полей в стволе орудия, зарядной каморе и элементах выстрела;

– опытным путем на штатных элементах выстрела.

Применение расчетных методов оценки времени безопасного нахождения снаряда в горячем стволе (для случая снаряжения взрывчатым веществом типа А-IX-2 при усредненных размерах снарядов и их разрывных зарядов, а также с использованием табличных значений физико-химических и теплоэнергетических характеристик ВВ и при прочих расчетных условиях) дает оценку указанного временного показателя в широких пределах: от двух до 200 минут для температур нагрева стволов калибра 100–152 мм при температуре нагрева трубы 150–200 °С, что отражено в требованиях таблиц стрельбы для 122–152 мм орудий [3–5] о недопустимости оставления снарядов в разогретом стволе более чем на 3–5 минут. Однако что, считать разогретым стволом и каким интервалом изменения температурных параметров характеризуется это состояние — указанными документами не определено, равно как и то, каким образом расчет, действующий при орудии, может определить указанное температурное состояние ствола.

Применение экспериментальных методов оценки времени безопасного нахождения боеприпаса в горячем стволе направлено на определение температуры испытуемого элемента артиллерийского выстрела непосредственно перед его срабатыванием, а также времени задержки действия с момента размещения изделия в зоне с заданной температурой.

Знание оценок теплового состояния ствола АО является обязательным условием для оценки безопасности артиллерийской системы. При этом широко известна методика, предусматривающая возможно большее сближение условий испытания с условиями боевого применения образцов боеприпасов, согласно которой в течение и после режимных стрельб с определенным расходом боеприпасов производятся соответствующие замеры температуры на внешней поверхности стволов.

В дальнейшем, в связи со сложностями измерения температуры на внутренней поверхности стволов, интересующий результат стал достигаться путем закладки в ствол разогретого стрельбой орудия и последующей выдержки в нем инертного выстрела (или теплового макета [6]) с боевыми элементами снаряжения (свидетелями). В результате испытаний время до сра-

батывания боевого элемента сопоставлялось со временем, заданным в тактико-техническом задании, при этом делалось заключение о безопасности выстрела и возможности нахождения у орудий артиллерийских расчетов в случае возникновения опасной ситуации [7].

Следует отметить, что использование экспериментального метода, основанного на использовании тепловых макетов для достижения результатов для назначения времени безопасного нахождения АВ в разогретом стволе, сопряжено с определенными сложностями, к основным из которых, относятся следующие:

- многообразие возможных режимов стрельбы (циклы нагрева и остывания во времени) артиллерийских орудий различного типа;
- сложности в формализации (выборе, назначении) основного режима стрельбы;
- опасность повреждения материальной части орудия, участвующего в испытании;
- необходимость материально-технического и экспериментального обеспечения существенно большего объема испытаний и др.

Экспериментально установлено, что зоной максимального нагрева артиллерийского выстрела при его нахождении в разогретом стволе является головная часть снаряда. При этом наибольшую опасность, в отличие от инициирующих и пиротехнических элементов, содержащихся во взрывателе, представляет детонатор, так как его срабатывание от предшествующих элементов огневой цепи исключается действием предохранительных механизмов.

Таким образом, мерой опасности пребывания выстрела в целом в разогретом стволе считается температура нагрева детонатора до воспламенения ВВ и соответствующее ей время задержки взрыва от момента досыла снаряда в ствол. В связи с этим, для определения термостойкости элементов артиллерийского выстрела и, как следствие, времени безопасного нахождения АВ в разогретом стволе, применяется известный способ оценки безопасности артиллерийской системы, согласно которому на специальных испытательных стендах отрабатываются циклы постепенного нагрева и остывания детонаторов взрывателей, сопоставимые с тем или иным заданным режимом огня артиллерийского орудия.

Проведенный сравнительный анализ результатов, полученных расчетными и эксперименталь-

ными методами, указывает на существенные отличия в оценках параметра времени задержки взрыва, что, вероятно, обусловлено недостаточным учетом особенностей нагрева и «чувствительности» взрывателя при применении расчетного метода, предполагающего снаряжение снаряда одним типом взрывчатого вещества при усредненных массово-габаритных размерах элементов артиллерийского выстрела, а также использованием табличных значений физико-химических и теплоэнергетических характеристик пиротехнических или взрывчатых веществ, входящих в его состав.

На рис. 2 приведен один из вариантов таких сравнительных оценок при различных методах исследований.

Следовательно, рекомендуемые результаты теоретических расчетов не в полной мере пригодны для практического использования при оценке безопасности в рассматриваемых условиях (применительно к типовой конструкции осколочно-фугасных снарядов); подобные сведения должны быть получены для каждого элемента артиллерийского выстрела (снаряда, заряда, взрывателя) при их опытной отработке. Тогда любая комбинация (комплектация) элементов выстрела позволит получить достоверные прогнозы безопасности при использовании в любом артиллерийском оружии.

В свою очередь, решение задачи определения теплового состояния ствола и боеприпаса в процессе стрельбы с учетом всех воздействующих и сопутствующих факторов в зависимости от условий эксплуатации может быть получено

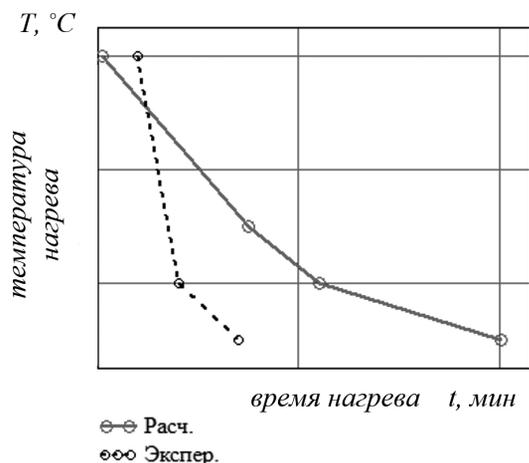


Рис. 2. Сравнение оценок параметра времени задержки взрыва при различных методах исследований

методом решения теоретической задачи нестационарной теплопроводности, которая описывается дифференциальным уравнением теплопроводности в частных производных и имеет следующий вид [8]:

$$\rho c \frac{dT}{dt} = \beta \left(\frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} + \frac{d^2T}{dz^2} \right) + q(x, y, z, t),$$

где ρ — плотность материала;

c — удельная теплоемкость;

β — коэффициент теплопроводности;

$q(x, y, z, t)$ — параметр уравнения, описывающий выделение тепла от внутренних источников теплоты (мощность внутренних источников тепловыделения).

Указанное уравнение (Фурье–Кирхгофа) используется с целью определения параметров процесса диффузии тепла. Его решение наиболее рационально производить методом конечных разностей, принимая в качестве исходных данных начальные и граничные условия третьего рода. При этом использование указанного численного метода для оценки нагрева элементов артиллерийской системы при выстреле позволяет реализовывать его в исследовательских целях с помощью различных программных продуктов, например MSExcel или Pascal.

Пример результата решения подобной задачи (для нагрева внутренней поверхности канала ствола) представлен на рис. 3.

Необходимо отметить, что разработка теоретических расчетных схем, позволяющих строить прогнозные оценки температуры нагрева ствола и элементов артиллерийского боеприпаса для произвольного числа выстрелов, должна быть в достаточной степени универсальной и адаптируемой к существующим конструктивным схемам артиллерийских орудий и условиям их эксплуатации. Учитывать особенности конструкции боеприпаса, как объекта опасного теплового состояния при его длительном нахождении в разогретом стволе, и специфику образования участков с неидеальным тепловым контактом материалов по всей системе «ствол–заряд–снаряд».

Заключение

Развитие методов, способов, технологических процессов испытаний артиллерийских систем,

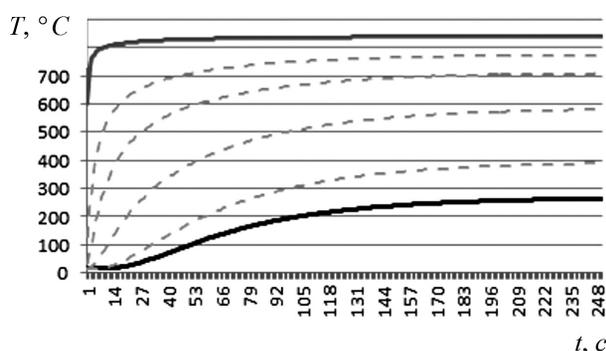


Рис. 3. Результаты моделирования процесса нагрева ствола во времени

методик моделирования получения оценок термостойкости элементов артиллерийских выстрелов, использование подхода, сочетающего в себе результаты практических испытаний и теоретических исследований в области нестационарной теплопроводности, позволит решить ряд актуальных задач:

- установить обоснованный вид закономерностей контактного теплообмена снаряда со стволом на основе применения аппарата решения прямых и обратных задач нестационарной теплопроводности;

- разработать спектр моделей нагрева элементов артиллерийских выстрелов при их нахождении в канале ствола, разогретого режимной стрельбой;

- разработать метод прогнозирования температурного состояния элементов артиллерийской системы в условиях нестационарной теплопроводности для любого числа выстрелов;

- усовершенствовать способ оценки безопасности артиллерийской системы при наличии сведений о термостойкости элементов артиллерийского выстрела;

- создать комплексную методику расчетно-экспериментального обоснования оценок показателей безопасного функционирования артиллерийской системы в условиях нестационарной теплопроводности.

Литература

1. Зайцев А.С. Проектирование артиллерийских стволов: учебное пособие. Балт. гос. техн. ун-т. — СПб., 2007. 164 с.

2. Калинин В.Ю. Анализ аварийной ситуации нештатного срабатывания мины в канале ствола 240-мм миномета // Тем. сб. № 57. Труды 54 Межвед. воен. научн. конф. — СПб.: МВАА, 2020. С. 155–158.

3. Таблицы стрельбы 122-мм гаубицы Д-30. — М.: Воениздат, 1984. 117 с.

4. Таблицы стрельбы 152-мм пушки-гаубицы Д-20. — М.: Воениздат, 1984. 200 с.

5. Указания о стрельбе выстрелами из 152-мм гаубицы 2А65. — М.: 3 ЦНИИ МО РФ, 2005. 237 с.

6. Тепловой макет для измерения температуры канала ствола орудия и элементов артиллерийского выстрела. Заявка на изобретение № 2018122902 от 22.06.2018.

7. Отчет о НИР № 35159. СПб: в/ч. 33491. 2014. 157 с.

8. Лыков А.В. Теория теплопроводности. — М.: Высш. школа, 1967. 600 с.

References

1. Zaitsev A.S. Designing artillery barrels: a textbook. Baltic State Technical University. — SPb. 2007. 164 p.

2. Kalinin V.Yu. Analysis of the emergency situation of an abnormal mine triggering in the bore of a 240-mm mortar // Topic. sat. No. 57. Proceedings of the 54th Inter-Vedic Military. Scientific Conference. — St. Petersburg: MWAA, 2020. Pp. 155–158.

3. Firing tables 122-mm howitzer D-30. — M.: Voениzdat, 1984. 117 p.

4. Firing tables 152-mm howitzer cannon D-20. — Moscow: Voениzdat, 1984. 200 p.

5. Instructions on firing shots from 152-mm howitzer 2A65. — M.: 3 Central Research Institute of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 2005. 237 p.

6. Thermal model for measuring the temperature of the barrel of the gun and the elements of the artillery shot. Application for invention No. 2018122902, dated 22.06.2018.

7. Research report No. 35159. — SPB: V.ch. 33491. 2014. 157 p.

8. Lykov A.V. Theory of thermal conductivity. — M.: Higher School, 1967. 600 p.