УДК 534.1

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СПОСОБ РАСЧЕТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫХ ПЕРИОДОВ ВЫСТРЕЛА МНОГОСТВОЛЬНОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ АРТИЛЛЕРИЙСКОЙ СИСТЕМЫ

Остапенко Е.Н.

ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», Пермь, e-mail: ostapenko@psu.ru

Дан краткий обзор возможностей строительных артиллерийских систем, предназначенных для застреливания строительных элементов в грунт. Показано, что существующие одноствольные строительные пушки способны застреливать сваи в грунт на расстояние до 4 м. Исходя из того, что в многоствольных артсистемах необходимо одновременное завершение предварительных периодов выстрела во всех стволах при различных условиях заряжания, поставлена задача аналитического описания этих периодов. При допущениях, принятых в классической термодинамической теории выстрела, получены соотношения, позволяющие определять продолжительности предварительных периодов для каждого ствола системы, что позволяет неравномерно воспламенять заряды в стволах с учетом одновременного завершения предварительных периодов выстрела. Приведен пример использования полученных в статье формул для двуствольной строительной пушки.

Ключевые слова: строительный элемент, свая, пушка, внутренняя баллистика, основная задача внутренней баллистики, предварительный период выстрела

ANALYTICAL METHOD OF CALCULATION PRELIMINARY PERIOD SHOT MULTIPLE BUILDING ARTILLERY SYSTEMS

Ostapenko E.N.

Perm State University n.a. Perm, e-mail: ostapenko@psu.ru

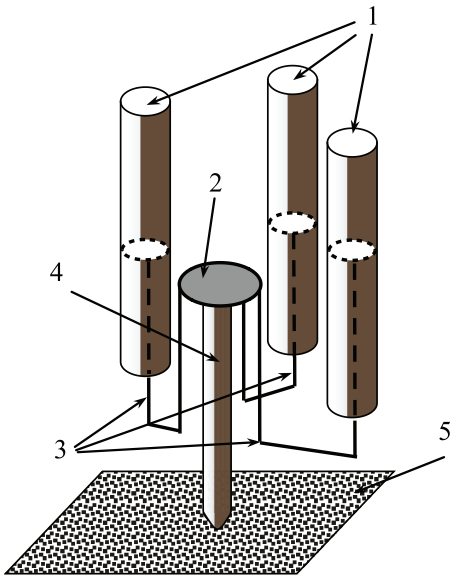
A brief overview of the construction of artillery systems for firing building elements into the soil. It is shown that the existing single-barrel gun capable of firing building piles into the ground at a distance of 4m. Based on the fact that multilateral gun system must be simultaneously taking place prior periods in all trunks shot under various conditions of loading, the task of the analytical description of these periods. Under the assumptions made in the classical thermodynamic theory shot to derive relationships allow you to define the duration of the interim period, for each barrel system that allows unevenly ignite charges in trunks considering the simultaneous completion of the preliminary period shot. An example of using the formulas obtained in the paper for double-barreled gun construction.

Keywords: building element, pile, gun, internal ballistics, the main task of internal ballistics, preliminary period shot

В настоящее время создана математическая теория, разработаны и внедрены в промышленность одноствольные строительные артиллерийские орудия [5]. Применение на практике строительных пушек показало их большую эффективность в нефтегазовом и промышленном строительстве.

Однако основным недостатком созданных орудий является невозможность их использования для застреливания свай на большие глубины при помощи одного выстрела. Так, например, максимальная величина проникания свай в глинистый грунт с консистенцией 0,5 при использовании установки УЗАС-2, созданной на базе модернизированного крупнокалиберного артиллерийского орудия М-47 [4], составляет 3,8 м [2]. Поэтому перед разработчиками строительных пушек встала задача создания артсистемы, способной застреливать сваи на глубину до 8 м. В работе [1] была предложена принципиальная схема многоствольных откатных пушек. На рисунке приведена эта принципиальная схема.

Работает установка следующим образом. В стволы 1 вставляется фигурный поршень 3 с платформой 2, которая опирается на строительный элемент 4, упирающийся на поверхность грунта 5. Во время выстрела платформа 2 давит на сваю 4, в результате чего свая 4 проникает в грунт 5.



Принципиальная схема многоствольной строительной артиллерийской системы

При работе многоствольных строительных артсистем возникает задача выбора условий заряжания таким образом, чтобы предварительный период выстрела завершался одновременно в каждом орудии, входящем в многоствольную конструкцию, поэтому аткуальной является задача математического моделирования предварительных периодов выстрела для каждого из стволов.

Описание численно-аналитического способа

Пусть n – количество стволов, входящих в многоствольную артиллерийскую систему.

Введем следующие допущения:

1. Состав продуктов горения во время выстрела не меняется, величина силы пороха f и коволюма пороховых газов α постоянны.

2. Показатель адиабаты (θ + 1) пороховых газов принимается постоянным, равным некоторому среднему значению.

3. Предполагается, что строительный элемент стоит на месте, пока давление газов не достигает величины давления форсирования $p_{0,i}$, где i – номер ствола в многоствольной строительной артиллерийской системе, $i=\overline{1,n}$.

4. Растяжением стенок ствола при выстреле и прорывом газов через зазоры между строительным элементом и каналом ствола пренебрегается.

5. Орудия, входящие в многоствольную строительную артиллерийскую систему, имеют разные технические характеристики и условия заряжания.

6. При выстреле используется трубчатый зерненый порох.

Пусть известны значения давлений форсирования $p_{0,i}$, $i=\overline{1,n}$ в каждом из стволов.

Согласно работе [3] относительную часть сгоревшего пороха в предварительном периоде выстрела можно рассчитать по формуле

$$\Psi_{0,i}=\frac{\frac{11}{\Delta_i}-\frac{}{\delta}}{\frac{f}{p_{0,i}}+\alpha-\frac{1}{\delta}},$$

где i – номер ствола; $\Psi_{0,i}$ – относительная часть сгоревшего пороха в конце предварительного периода выстрела в стволе i; $\Delta_i=\frac{\omega_i}{W_{0,i}}$ – плотность заряжания; ω_i – масса заряда в стволе i, $W_{0,i}$ – объем каморы в стволе i, δ – плотность пороха; f – сила пороха; $p_{0,i}$ – давление форсирования в стволе i, здесь $i=\overline{1,n}$.

На основе работы [2] легко показать, что энергия E_i, выделяемая при горении пороховых газов в предварительном периоде выстрела в стволе i, описывается соотношением

$$E_i=\frac{f}{\theta}\omega_i\Psi_i-\frac{p_iW_{\Psi_i}}{\theta},$$

где $W_{\Psi_i}=W_{0,i}\left[1-\frac{\Delta_i}{\delta}-\Delta_i\left(\alpha-\frac{1}{\delta}\right)\Psi_i\right]$ – свободный объем каморы i-го ствола к моменту сгорания в ней части заряда Ψ_i.

Так как в предварительном периоде выстрела пороховые газы не совершают внешних работ, то справедливо равенство

$$E_i=\frac{f}{\theta}\omega_i\Psi_i-\frac{p_iW_{\Psi_i}}{\theta}=0,$$

которое влечет соотношение

$$p_i=\frac{f\,\omega_i\Psi_i}{W_{\Psi_i}}. \qquad (1)$$

Согласно геометрическому закону горения трубчатого зерненого пороха справедливо равенство [3]

$$p_i=\frac{f\,\omega_i\Psi_i}{W_{\Psi_i}}, \qquad (2)$$

где t – время; I_{pi} – импульс пороха в стволе i.

Подставляя соотношение (1) в выражение (2), получим равенство

$$\frac{d\Psi_i}{dt}=\frac{1}{I_{p_i}}\frac{f\,\omega_i\,\Psi_i}{W_{0,i}\left[1-\frac{\Delta_i}{\delta}-\Delta_i\left(\alpha-\frac{1}{\delta}\right)\Psi_i\right]}. \qquad (3)$$

Легко видеть, что соотношение (3) является обыкновенным дифференциальным уравнением в разделяющихся переменных, решение которого определяется формулой

$$\left(1-\frac{\Delta_i}{\delta}\right)\ln\Psi_i-\Delta_i\left(\alpha-\frac{1}{\delta}\right)\Psi_i=f\,\Delta_i\frac{1}{I_{p_i}}t+C_i, \qquad (4)$$

где C_i – произвольная постоянная.

Так как первоначальное давление в каморах равно атмосферному p_a, то будем считать, что справедливы соотношения

$$\Psi_i(0)=\frac{\frac{11}{\Delta_i}-\frac{}{\delta}}{\frac{f}{p_a}+\alpha-\frac{1}{\delta}},\quad i=\overline{1,n} \qquad (5)$$

Учитывая равенства (5), можно вычислить значения C_i по формулам

$$C_i = \left(1 - \frac{\Delta_i}{\delta}\right)\ln \Psi_i(0) - \Delta_i\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\Psi_i(0).$$

Зная величины C_i, можно из соотношения (4) определить продолжительность t_i предварительного периода в каждом из стволов:

$$t_i = \frac{\left(1 - \frac{\Delta_i}{\delta}\right)\ln \frac{\Psi_{0,i}}{\Psi(0)} - \Delta_i\left(\alpha - \frac{1}{\delta}\right)\left(\Psi_{0,i} - \Psi(0)\right)}{f\,\Delta_i \frac{1}{I_{p_i}}}.$$

Пусть минимальное время горения заряда (ствол k) в предварительном периоде выстрела до достижения давления форсирования $p_{0,k}$. Тогда очевидно, что воспламенять заряды в стволах многоствольной артиллерийской системы нужно раньше, чем в стволе k на время λ_i, удовлетворяющее соотношению $\lambda_i = t_i - t_k$, $i = \overline{1,n}$, $t \neq k$.

Пример реализации способа

Рассмотрим использование предложенного способа расчета предварительных периодов выстрела для двуствольной строительной артиллерийской системы, условия заряжания которой приведены в табл. 1.

Таблица 1

Условия заряжания

Условие заряжания	Значение параметра
$W_{0,1}$, м^3	0,001026
$W_{0,2}$, м^3	0,00063
I_{p1}, Па с	230000
I_{p2}, Па с	37650
$p_{0,1}$, МПа	30
$p_{0,2}$, МПа	30
ω_1, кг	0,154
ω_2, кг	0,154

Таблица 2

Результаты расчетов

Расчетное время горения пороха в каморе	
первого ствола, с	второго ствола, с
0,00802	0,00754

Расчетное время опережения порохового заряда в каморе первого ствола относительно воспламенения пороха в каморе второго ствола (табл. 2) составило 0,00048 с.

Заключение

Таким образом, предложенный в статье аналитический способ оценки времени воспламенения пороховых зарядов в камерах многоствольных строительных артиллерийских орудий позволяет без применения приемов программирования получить необходимые характеристики предварительных периодов выстрела, что облегчает проектирование и расчет строительных артсистем.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (базовая часть государственного задания на проведение научно-исследовательских работ).

Список литературы

1. Маланин В.В., Пенский О.Г., Проничев А.А., Ракко А.Ю. Установка для погружения в грунт строительных элементов. Патент России № 2348757. – 2009. – Бюл. № 7.
2. Маланин В.В., Пенский О.Г. Сопряженные модели динамики импульсно-тепловых машин и проникания недеформируемых тел в сплошную среду: монография / Перм. ун-т. – Пермь, 2007. – 199 с.
3. Русяк И.Г., Ушаков В.М. Внутрикамерные гетерогенные процессы в ствольных системах: монография. – Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. – 259 с.
4. Цирульников М.Ю., Хабибуллин Р.Х., Шафран С.Б., Гвиндяев Б.Н., Григорьев В.Н., Пенский О.Г. Установка для погружения строительных элементов. А.С. СССР 1258105. – 1986. – Бюл. № 9.
5. Pensky O.G. Engineering Construction Cannons: Theory and Practice // Journal of Civil Engineering. – 2013. – Vol.7, № 17. – P. 1–6.

References

1. Malanin V.V., Penskij O.G., Pronichev A.A., Rakko A.Ju. Ustanovka dlja pogruzhenija v grunt stroitel'nyh jelementov. Patent Rossii no. 2348757. 2009. Bjul. no. 7.
2. Malanin V.V., Penskij O.G. Soprjazhennye modeli dinamiki impul'sno-teplovyh mashin i pronikanija nedeformiruemyh tel v sploshnuju sredu: monografija / Perm. un-t. Perm', 2007. 199 p.
3. Rusjak I.G., Ushakov V.M. Vnutrikamernye geterogennye processy v stvol'nyh sistemah: monografija. Ekaterinburg: Izd-vo UrO RAN, 2001. 259 p.
4. Cirul'nikov M.Ju., Habibullin R.H., Shafran S.B., Gvindjaev B.N., Grigor'ev V.N., Penskij O.G. Ustanovka dlja pogruzhenija stroitel'nyh jelementov. A.S. SSSR 1258105. 1986. Bjul. no. 9.
5. Pensky O.G. Engineering Construction Cannons: Theory and Practice // Journal of Civil Engineering. 2013. Vol.7, no. 17. pp. 1–6.

Рецензенты:

Пенский О.Г., д.т.н., доцент, профессор кафедры фундаментальной математики, Пермский государственный национальный исследовательский университет, г. Пермь;

Ясницкий Л.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой прикладной информатики, Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет, г. Пермь.

Работа поступила в редакцию 04.04.2014.