

«

»

“ ”

“ ”

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Основы баллистики и аэродинамики

: 17.05.01

: 4, : 7 8

		7	8
1	()	4	4
2		144	144
3	, .	80	81
4	, .	36	36
5	, .	36	36
6	, .	0	0
7	, .	16	20
8	, .	2	2
9	, .	6	7
10	, .	64	63
11	(, ,)		
12			

(): 17.05.01

1161 12.09.2016 . , : 28.09.2016 .

: 1,

(): 17.05.01

, 6 20.06.2017

, 5 21.06.2017

:

,

:

,

:

. . . .

1.

1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.7 способность представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; в части следующих результатов обучения:	
9.	
Компетенция ФГОС: ОПК.8 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:	
26.	
27.	

2.

2.1

(, , ,)	
-----------	--

.7. 9	
1. теоретические основы и методы расчета основных задач внутренней баллистики ствольных систем, аэродинамики, внешней баллистики ракет и снарядов.	;
.8. 27	
2. иметь четкие представления о взаимосвязи параметров летательного аппарата, системы управления полетом с траекторными характеристиками, о влиянии на них внешних условий.	;
.8. 26	
3. сформировать математическую модель исследования летательного аппарата в виде системы дифференциальных уравнений, знать и уметь применять методы решения таких систем, в том числе с использованием вычислительной техники, провести анализ полученных результатов.	; ;

3.

3.1

: 7				
:				
1.	0	9	1	,
2.	0	9	1	,
3.	0	9	1	,

4.	0	9	1	,
:8				
:				
5.	0	9	2,3	,
6.	0	9	2,3	,
7.	0	9	2,3	,
8.	0	9	2,3	,

3.2

	,	.		
:7				
:				
1.	4	9	1	,
2.	4	9	1	,

3.	4	9	1	,	,
4.	4	9	1	,	,
: 8					
:					
5.	5	9	2, 3	,	,
6.	5	9	2, 3	,	,
7.	5	9	2, 3	,	,
8.	5	9	2, 3	,	,

4.

: 7				
1		3	64	6
1:	: / ; - . - [, [2014]. - : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208521 . - - « » [.]: [2014]. - / ; - . - , : http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208512 . -			
: 8				
1		3	63	7

» []: « / . . .
 ; , [2014]. - :
http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208512. -
 [] . 2: / . . . ;
 , [2014]. - :
http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208515. -

5.

(. 5.1).

5.1

	e-mail

6.

() ,

-
15-

ECTS.

. 6.1.

6.1

: 7	
<i>Лекция:</i>	20
<i>Практические занятия:</i>	20
<i>РГЗ:</i>	20
<i>Экзамен:</i>	40
: 8	
<i>Лекция:</i>	20
<i>Практические занятия:</i>	20
<i>РГЗ:</i>	20
<i>Экзамен:</i>	40

6.2

6.2

.7	9.	+	+
.8	26.	+	+

7.

1. Внутренняя баллистика РДТТ [Электронный ресурс]: учебное пособие / А.В. Алиев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Машиностроение, 2007.— 504 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/5127.html>.— ЭБС «IPRbooks»
2. Гуськов А. В. Внешняя баллистика : учебное пособие / А. В. Гуськов, К. Е. Милевский, А. В. Сотенко ; Новосиб. гос. техн. ун-т, Фак. летат. аппаратов. - Новосибирск, 2010. - 187, [1] с. : ил. - Режим доступа: <http://www.ciu.nstu.ru/fulltext/textbooks/2010/gusik.pdf>

1. Серебряков М. Е. Внутренняя баллистика ствольных систем и пороховых ракет : [учебник для вузов] / М. Е. Серебряков. - М., 1962. - 703 с. : ил.
2. Ассовский И. Г. Физика горения и внутренняя баллистика : учебное пособие / И. Г. Ассовский ; Ин-т химической физики им. Н. Н. Семенова. - М., 2005. - 357 с. : ил.

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>
4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>
5. :

8.

8.1

1. Балаганский И. А. Внутренняя баллистика [Электронный ресурс] : электронный учебно-методический комплекс / И. А. Балаганский ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2016]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000233591. - Загл. с экрана.
2. Балаганский И. А. Основы баллистики и аэродинамики [Электронный ресурс]. Ч. 2 : учебное пособие / И. А. Балаганский ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208515. - Загл. с экрана.
3. Балаганский И. А. Основы баллистики и аэродинамики [Электронный ресурс]. Ч. 1 : учебное пособие / И. А. Балаганский ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208521. - Загл. с экрана.
4. Сотенко А. В. Внешняя баллистика: учебно-методический комплекс [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / А. В. Сотенко ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2011]. - Режим доступа: http://ciu.nstu.ru/fulltext/unofficial/2012/lib_21845_1326087548.rar. - Загл. с экрана.
5. Балаганский И. А. Расчетно-графическая работа по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики» [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / И. А. Балаганский ; Новосиб. гос. техн. ун-т. - Новосибирск, [2014]. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000208512. - Загл. с экрана.

8.2

2 Office

9. -

1	(-) , ,	

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»

Кафедра газодинамических импульсных устройств

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН ФЛА
д.т.н., профессор С.Д. Саленко
“ ____ ” _____ ____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Основы баллистики и аэродинамики

Образовательная программа: 17.05.01 Боеприпасы и взрыватели, специализация: Боеприпасы

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине Основы баллистики и аэродинамики приведена в Таблице

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.7 способность представить адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	з9. основные понятия и соотношения внутренней и внешней баллистики	Алгоритм решения задач внутренней баллистики Зависимость выходных баллистических характеристик от основных проектных параметров Основные понятия и соотношения внутренней баллистики: законы горения топлив и порохов и газообразование. Термодинамический метод решения задач баллистики для установок и твердотопливных двигателей. Баланс энергии и системы уравнений	РГЗ, разделы 1-4	Экзамен, вопросы 1-57
ОПК.8 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	з26. математические модели движения и методы определения характеристик движения в аэродинамике и баллистике	Возмущенное движение. Теория поправок Методы определения характеристик рассеивания Аэродинамическое и баллистическое проектирование летательных аппаратов Возмущенное движение. Теория поправок Методы определения характеристик рассеивания Аэродинамическое и баллистическое проектирование летательных аппаратов Критерии подобия Теория пограничного слоя Теоретические и экспериментальные методы определения аэродинамических характеристик летательных аппаратов Математическая модель движения летательных аппаратов Методы наведения Методы определения характеристик движения летательных аппаратов Методы наведения Методы определения характеристик движения летательных аппаратов Предмет и задачи внешней баллистики. Системы координат. Атмосфера Земли Силы и моменты, действующие на летательный аппарат Кинематика жидкости. Скачки уплотнения.	РГЗ, разделы 1-6	Экзамен, вопросы 58-72

		Предмет и задачи внешней баллистики. Системы координат. Атмосфера Земли Силы и моменты, действующие на летательный аппарат Кинематика жидкости. Скачки уплотнения.		
ОПК.8	з27. аэродинамика средств поражения	Возмущенное движение. Теория поправок Методы определения характеристик рассеивания Аэродинамическое и баллистическое проектирование летательных аппаратов Возмущенное движение. Теория поправок Методы определения характеристик рассеивания Аэродинамическое и баллистическое проектирование летательных аппаратов Критерии подобия Теория пограничного слоя Теоретические и экспериментальные методы определения аэродинамических характеристик летательных аппаратов Математическая модель движения летательных аппаратов Методы наведения Методы определения характеристик движения летательных аппаратов Методы наведения Методы определения характеристик движения летательных аппаратов Предмет и задачи внешней баллистики. Системы координат. Атмосфера Земли Силы и моменты, действующие на летательный аппарат Кинематика жидкости. Скачки уплотнения. Предмет и задачи внешней баллистики. Системы координат. Атмосфера Земли Силы и моменты, действующие на летательный аппарат Кинематика жидкости. Скачки уплотнения.	РГЗ, разделы 1-6	Экзамен, вопросы 73-86

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 7 семестре - в форме экзамена, в 8 семестре - в форме экзамена, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.7, ОПК.8.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 8 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ). Требования к выполнению РГЗ, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ.

В 7 семестре обязательным этапом текущей аттестации является расчетно-графическое задание (работа) (РГЗ). Требования к выполнению РГЗ, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.7, ОПК.8, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт экзамена

по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики», 7 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-42, второй вопрос из диапазона вопросов 43-84 (список вопросов приведен ниже). Время на подготовку составляет 40 минут. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФЛА

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики»

1. Вопрос 1
2. Вопрос 2.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) _____ (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет *0-19 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет *20-25 баллов*.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет *26-33 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет *34-40 баллов*.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Экзамен считается сданным, если средняя сумма баллов по всем вопросам составляет не менее 20 баллов (из 40 возможных).

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики»

1. Что является предметом изучения внутренней баллистики?
2. Какие процессы явления выстрела основные?
3. Назовите основные периоды явления выстрела.
4. Чем отличаются пиродинамические кривые в функции от времени и пути?
5. Какими параметрами внутренней баллистики характеризуешь артиллерийская система?
6. В чем заключается практическое значение внутренней баллистики?
7. Назовите основные сорта бездымных порохов.
8. Почему при стрельбе могут образовываться дым и пламя?
9. Перечислите физико-химические характеристики пороха.
10. Перечислите баллистические характеристики пороха.
11. Каким образом определяются характеристики пороха?
12. Назовите пределы изменения значений основных характеристик пороха.
13. В чем состоит процесс зажжения пороха?
14. Что такое процесс воспламенения пороха?
15. Объясните механизм горения пороха.
16. От каких факторов зависит скорость горения пороха?
17. Что такое закон скорости горения пороха?
18. Назовите величину скорости горения пороха в орудии.
19. Какие причины вызывают неоднобразие горения пороховых зерен заряда?
20. В чем заключается сущность геометрического закона горения пороха?
21. Что называется законом образования пороховых газов?
22. Каким образом зависят характеристики формы от формы пороховых зерен?
23. Что такое быстрота газообразования и от каких факторов она зависит?
24. Что называется полным пиростатическим давлением?
25. В каком виде во внутренней баллистике артиллерийского орудия применяется уравнение состояния газов?
26. Как изменяется при горении пороха свободный объем каморы?
27. Что такое приведенная длина свободного объема каморы?
28. Как зависит давление пороховых газов в постоянном объеме от относительного веса сгоревшего пороха?
29. От каких параметров зависит полное пиростатическое давление?

30. Какая сила является движущей силой при выстреле?
31. Как записывается уравнение поступательного движения снаряда?
32. Что учитывает коэффициент фиктивности?
33. Как изменяется скорость свободного отката при выстреле?
34. Как изменяется угловая скорость снаряда при выстреле?
35. Для чего используется уравнение вращательного движения снаряда?
36. Как изменяется сила нормальной реакции боевой грани нареза при движении снаряда?
37. Каким образом расходуется тепловая энергия пороховых газов при выстреле?
38. Что выражает собой основное уравнение пиродинамики?
39. Какие работы совершают пороховые газы при расширении?
40. Какие выводы можно сделать из формулы для предельной скорости снаряда?
41. Что такое коэффициент учета второстепенных работ?
42. В чем состоит содержание основной задачи внутренней баллистики?
43. Перечислите допущения, принимаемые при решении основной задачи внутренней баллистики.
44. Как получают систему уравнений при аргументе t ?
45. Дайте характеристику системе уравнений при аргументе t .
46. Какие существуют методы решения основной задачи внутренней баллистики?
47. Как можно решить систему уравнений внутренней баллистики во втором периоде?
48. Получите зависимости для скорости и давления интегрированием системы (19).
49. Как можно получить значения пиродинамических элементов для дульного среза орудия?
50. Почему в методе профессора Слухоцкого в качестве аргумента берется величина z ?
51. Как изобразится график зависимости скорости снаряда в функции от z ?
52. Какие упрощения исходной системы уравнений делаются в методе Слухоцкого?
53. С помощью какой функции вычисляют время движения снаряда в первом периоде?
54. От каких факторов будут зависеть ошибки приближенного аналитического метода профессора Слухоцкого?
55. Какие требования предъявляются к системе уравнений, используемой для составления таблиц внутренней баллистики?
56. Какие особенности имеет система уравнений внутренней баллистики при аргументе x ?
57. Какую роль играет во внутренней баллистике параметр заряжания проф. Дроздова?
58. От каких параметров зависят пиродинамические элементы?
59. Почему при составлении таблиц внутренней баллистики вводятся табличные скорости и табличные времена?
60. Какие параметры были заданы постоянными значениями при составлении таблиц внутренней баллистики ГАУ?
61. Каким условиям соответствуют заданные значения параметров?
62. Как устроены таблицы внутренней баллистики ГАУ?
63. Из каких частей состоит РДТТ?
64. Для чего предназначен сопловой блок?
65. Опишите устройство заряда РДТТ.
66. В чем заключается принцип действия РДТТ?
67. Что такое реактивная сила?
68. От каких факторов зависит реактивная сила?
69. Перечислите рабочие характеристики РДТТ.
70. В чем состоят особенности явления выстрела в РДТТ?
71. Перечислите основные процессы, происходящие в камере РДТТ.
72. Как зависит скорость горения заряда от скорости потока газов в камере?
73. От каких факторов зависит секундный приход пороховых газов?
74. От каких факторов зависит секундный расход пороховых газов?

75. Как изменяются параметры состояния газа вдоль сопла?
76. Какую роль играет параметр проф. Победоносцева в оценке конструкции РДТТ?
77. Как изменяется теплопередача от пороховых газов к стенкам двигателя при его работе?
78. Для чего необходимо знать зависимость давления в камере РДТТ от времени?
79. Как можно рассчитать зависимость давления от времени?
80. Что такое равновесное давление?
81. От каких факторов зависит величина равновесного давления?
82. Что такое поправочные формулы внутренней баллистики РДТТ?
83. Каково влияние параметра χ на величину равновесного давления?
84. Приведите пример регулирования величины равновесного давления.

Пример экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФЛА

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики»

1. Что является предметом изучения внутренней баллистики?
2. Перечислите рабочие характеристики РДТТ.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись)
(дата)

Паспорт расчетно-графического задания

по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики», 7 семестр

1. Методика оценки

Должен быть выполнен вариант предложенный студенту. Должны быть выполнены все пункты задания. РГЗ должно быть оформлено аккуратно в формате MS Word.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ, оценка составляет 0-9 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ выполнены формально: студент не может объяснить, как он выполнял работу, оценка составляет 10-13 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если работа выполнена в полном объеме, студент может, в целом, объяснить, как он выполнял работу, но плохо владеет теорией, оценка составляет 14-17 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если работа выполнена в полном объеме, студент может объяснить, как он выполнял работу, хорошо владеет теоретическим материалом, оценка составляет 18-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Структура РГЗ

Задание 1. Внутренняя баллистика

1. Рассчитать внутрибаллистические характеристики артиллерийской ствольной системы при определенной плотности заряжания методом проф. Слухоцкого в четырех опорных точках.
2. Построить пиродинамические кривые используя программу расчета, выданную преподавателем.
3. Рассчитать внутрибаллистические характеристики этой же системы при тех же исходных данных табличным методом.
4. Сравнить полученные результаты и объяснить различия в результатах.

Пример оформления:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

*Расчетно-графическое задание
по курсу «Основы баллистики и аэродинамики»*

Выполнила: Хребтова М.С.
Группа: МА-21
Факультет: ЛА

Преподаватель: Балаганский И.А

Новосибирск 2015

Задание:

Рассчитать характеристики пиродинамических элементов по четырем опорным точкам.

Исходные данные:

$W_0, \text{ дм}^3$	1,515	Объем каморы
$S, \text{ дм}^2$	0,4692	Сечение канала ствола включая нарезы
$l_d, \text{ дм}$	33,91	Длина пути снаряда по каналу ствола
$q, \text{ кг}$	6,2	Вес снаряда
$p_0, \text{ кг/дм}^2$	$300 \cdot 10^2$	Давление форсирования
$f, \text{ кг дм/кг}$	950000	Сила пороха
$\alpha, \text{ дм}^3/\text{кг}$	0,98	Коволюм
$\delta, \text{ кг/дм}^3$	1,6	Плотность пороха
$u_1, \text{ (дм/сек)/(кг/дм}^2\text{)}$	0,0000074	Коэффициент скорости горения пороха
κ	1,06	Характеристика формы порохового зерна
Θ	0,2	Параметр расширения
$2 \cdot e_1, \text{ мм}$	1,357	Толщина горящего свода порохового зерна
$\omega, \text{ кг}$	1,1	Масса пороха
φ	1,179	Коэффициент фиктивности
$d, \text{ дм}$	0,762	Калибр

1. Вычисляем постоянные величины:

Вычисления производятся по методу проф. Слухоцкого. Решение системы уравнений при аргументе z . (Чурбанов, стр. 112)

Приведенная длина пустой каморы:

$$l_0 = \frac{W_0}{S} = \frac{1,515 \text{ дм}^3}{0,4692 \text{ дм}^2} = 3,229 \text{ дм}$$

Плотность заряжания:

$$\Delta = \frac{\omega}{W_0} = \frac{1,1 \text{ кг}}{1,515 \text{ дм}^3} = 0,726 \text{ кг/дм}^3$$

Приведенная длина свободного объема каморы до начала горения пороха

$$l_\Delta = l_0 \cdot \left(1 - \frac{\Delta}{\delta}\right) = 3,229 \text{ дм} \cdot \left(1 - \frac{0,726 \text{ кг/дм}^3}{1,6 \text{ кг/дм}^3}\right) = 1,764 \text{ дм}$$

Приведенная длина свободного объема каморы в конце первого периода:

$$l_1 = l_0 \cdot (1 - \alpha \cdot \Delta) = 3,229 \text{ дм} \cdot \left(1 - 0,98 \frac{\text{дм}^3}{\text{кг}} \cdot 0,726 \text{ кг/дм}^3\right) = 0,931 \text{ дм}$$

По методу проф. Слухоцкого заменяем переменную величину l_{ψ} , на постоянную l' .
(Чурбанов, стр. 114)

$$l' = \frac{(l_{\Delta} + l_1)}{2} = \frac{(1,764 \text{ дм} + 0,931 \text{ дм})}{2} = 1,348 \text{ дм}$$

Находим относительный вес сгоревшего пороха в предварительном периоде:

$$\psi_0 = \frac{\left(\frac{1}{\Delta} - \frac{1}{\delta}\right)}{\left(\frac{f}{p_0} + \alpha - \frac{1}{\delta}\right)} = \frac{\left(\frac{1}{0,726 \text{ кг/дм}^3} - \frac{1}{1,6 \text{ кг/дм}^3}\right)}{\left(\frac{950000 \text{ кг дм/кг}}{300 \cdot 10^2 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^2}} + 0,98 \frac{\text{дм}^3}{\text{кг}} - \frac{1}{1,6 \text{ кг/дм}^3}\right)} = 0,023$$

Характеристика формы порохового зерна:

$$\lambda = \frac{(1 - \kappa)}{\kappa} = \frac{(1 - 1,06)}{1,06} = -0,057$$

Относительная толщина слоя сгоревшего пороха в предварительном периоде:

$$z_0 = \frac{\psi_0}{\kappa + \lambda \cdot \psi_0} = \frac{0,023}{1,06 + (-0,057) \cdot 0,023} = 0,022$$

Полный (конечный) импульс давления пороховых газов :

$$I_k = \frac{e_1}{u_1} = \frac{0,678 \cdot 10^{-2} \text{ дм}}{0,0000074 (\text{дм/сек}) / (\text{кг/дм}^2)} = 916,892 \text{ кг} \cdot \text{сек} / \text{дм}^2$$

Скорость снаряда в конце первого периода (при окончании горения пороха):

$$v_k = \frac{g \cdot S}{\varphi \cdot q} \cdot I_k \cdot (1 - z_0) = \frac{98,1 \frac{\text{дм}}{\text{сек}^2} \cdot 0,4692 \text{ дм}^2}{1,179 \cdot 6,2 \text{ кг}} \cdot 916,892 \text{ кг} \cdot \text{сек} / \text{дм}^2 \cdot (1 - 0,022) = 5645 \frac{\text{дм}}{\text{сек}}$$

В аналитическом методе проф. Слухоцкого параметры a , A , b , c и k введены для упрощения интегрирования формулы давления пороховых газов в первом периоде, для дальнейшего вычисления давления относительно аргумента z . (Чурбанов, стр.113-116)

$$a = f \cdot \kappa \cdot \omega = 950000 \frac{\text{кг} \cdot \text{дм}}{\text{кг}} \cdot 1,06 \cdot 1,1 \text{ кг} = 1,108 \cdot 10^6 \text{ кг дм}$$

$$c = \varphi \cdot \frac{q}{g} \cdot v_k^2 = 1,179 \cdot \frac{6,2 \text{ кг}}{98,1 \frac{\text{дм}}{\text{сек}^2}} \cdot (5645 \frac{\text{дм}}{\text{сек}})^2 = 2,375 \cdot 10^6 \text{ кг дм}$$

$$b = \lambda - \frac{\theta \cdot c}{2 \cdot a} = -0,057 - \frac{0,2 \cdot 2,375 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{дм}}{2 \cdot 1,108 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{дм}} = -0,271$$

$$k = \frac{c}{a \cdot b} = \frac{2,375 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{дм}}{1,108 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{дм} \cdot (-0,271)} = -7,911$$

$$A = \frac{a}{S \cdot l'} \cdot (1 + b \cdot z_0)^k = \frac{1,108 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{дм}}{0,4693 \text{ дм}^2 \cdot 1,348 \text{ дм}} \cdot (1 - 0,271 \cdot 0,022)^{-7,911} = 1,752 \cdot 10^6 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^2}$$

$$m = 1 - k = 8,911$$

Предельная скорость снаряда:

$$v_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot f \cdot \omega}{\theta \cdot \varphi \cdot q}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 98,1 \frac{\text{дм}}{\text{сек}^2} \cdot 950000 \frac{\text{кг} \cdot \text{дм}}{\text{кг}} \cdot 1,1 \text{ кг}}{0,2 \cdot 1,179 \cdot 6,2 \text{ кг}}} = 11840 \frac{\text{дм}}{\text{сек}}$$

Зависимость для расчета времени движения снаряда в канале ствола:

$$v_k = \frac{v_k}{v_{\text{пр}}} = \frac{5645 \frac{\text{дм}}{\text{сек}}}{11840 \frac{\text{дм}}{\text{сек}}} = 0,477$$

2. Вычисляем пиродинамические элементы, отвечающие наибольшему давлению пороховых газов.

Относительная толщина слоя сгоревшего пороха при максимальном давлении пороховых газов:

$$z_m = \frac{-1}{b \cdot (2 - k)} = \frac{-1}{-0,271 \cdot (2 + 7,911)} = 0,372$$

Скорость, соответствующая максимальному давлению пороховых газов:

$$v_m = v_k \cdot z_m = 5645 \frac{\text{ДМ}}{\text{сек}} \cdot 0,372 = 2,102 \cdot 10^3 \frac{\text{ДМ}}{\text{сек}}$$

Путь, пройденный снарядом в момент достижения максимального давления:

$$l_m = l' \cdot \left[\left(\frac{1 + b \cdot z_m}{1 + b \cdot z_0} \right)^k - 1 \right] = 1,348 \text{ дм} \cdot \left[\left(\frac{1 - 0,271 \cdot 0,372}{1 - 0,271 \cdot 0,022} \right)^{-7,911} - 1 \right] = 1,633 \text{ дм}$$

Максимальное давление пороховых газов:

$$p_m = A \cdot z_m \cdot (1 + b \cdot z_m)^{1-k} = 1,752 \cdot 10^6 \frac{\text{кГ}}{\text{дм}^2} \cdot 0,372 \cdot (1 - 0,271 \cdot 0,372)^{1+7,911} \\ = 2,528 \cdot 10^5 \frac{\text{кГ}}{\text{дм}^2}$$

Время движения снаряда:

$$T(b z_m, m) = 11,099$$

$$T(b z_0, m) = 7,1449$$

$$t_m = \frac{I_k}{A} \cdot [T(b z_m, m) - T(b z_0, m)] = \frac{916,892 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}}{\text{дм}^2}}{1,752 \cdot 10^6 \frac{\text{кГ}}{\text{дм}^2}} \cdot [11,099 - 7,1449]$$

$$= 0,0021 \text{ сек}$$

Значения функций $T(b z_m, m)$ и $T(b z_0, m)$ брать из таблиц (Чурбанов, стр. 217)

3. Вычисляем пиродинамические элементы, отвечающие моменту окончания горения пороха.

Длина ствола на момент окончания горения пороха:

$$l_k = l' \cdot \left[\left(\frac{1 + b}{1 + b \cdot z_0} \right)^k - 1 \right] = 1,348 \text{ дм} \cdot \left[\left(\frac{1 - 0,271}{1 - 0,271 \cdot 0,022} \right)^{-7,911} - 1 \right] = 14,312 \text{ дм}$$

Если $l_k < l_d$, значит, что порох успеет сгореть в канале ствола.

Давление пороховых газов, на момент окончания горения пороха:

$$p_k = A \cdot (1 + b)^{1-k} = 1,108 \cdot 10^6 \frac{\text{кГ}}{\text{дм}^2} (1 - 0,271)^{1-7,911} = 1,048 \cdot 10^5 \frac{\text{кГ}}{\text{дм}^2}$$

$$T(b, m) = 16,29$$

$$b = -0,271$$

$$T(b z_0, m) = 7,1449$$

$$b \cdot z_0 = -0,271 \cdot 0,022 = -0,006$$

Время движения снаряда:

$$t_k = \frac{I_k}{A} \cdot [T(b, m) - T(b z_0, m)] = \frac{916,892 \frac{\text{кГ} \cdot \text{сек}}{\text{дм}^2}}{1,108 \cdot 10^6 \frac{\text{кГ}}{\text{дм}^2}} \cdot (16,29 - 7,1449) = 0,0048 \text{ сек}$$

Значения функций $T(b z_m, m)$ и $T(b z_0, m)$ брать из таблиц (Чурбанов, стр. 217)

4. Вычисляем пиродинамические элементы, отвечающие дульному срезу.

Скорость снаряда в дульном срезе:

$$v_d = v_{\text{пр}} \sqrt{1 - \left(1 - \frac{v_k^2}{v_{\text{пр}}^2} \right) \cdot \left(\frac{l_1 + l_k}{l_1 + l_d} \right)^\theta} \\ = 11840 \frac{\text{дм}}{\text{сек}} \cdot \sqrt{1 - \left(1 - \frac{\left(5645 \frac{\text{дм}}{\text{сек}} \right)^2}{\left(11840 \frac{\text{дм}}{\text{сек}} \right)^2} \right) \cdot \left(\frac{0,931 \text{ дм} + 14,312 \text{ дм}}{0,931 \text{ дм} + 33,91 \text{ дм}} \right)^{0,2}} \\ = 6956 \text{ дм/сек}$$

$$v_d = \frac{v_d}{v_{\text{пр}}} = \frac{6956 \frac{\text{дм}}{\text{сек}}}{11840 \frac{\text{дм}}{\text{сек}}} = 0,587$$

Давление в дульном срезе:

$$p_d = p_k \left(\frac{l_1 + l_k}{l_1 + l_d} \right)^{\theta+1} = 1,048 \cdot 10^5 \frac{\text{кГ}}{\text{дМ}^2} \cdot \left(\frac{0,931 \text{ дМ} + 14,312 \text{ дМ}}{0,931 \text{ дМ} + 33,91 \text{ дМ}} \right)^{0,2+1} = 3,886 \cdot 10^4 \frac{\text{кГ}}{\text{дМ}^2}$$

Время движения снаряда:

$$m_k = (l_1 + l_k) \cdot (1 - v_k^2)^{\frac{1}{\theta}} = (0,931 \text{ дМ} + 14,312 \text{ дМ}) \cdot (1 - 0,477^2)^{\frac{1}{0,2}} = 4,2 \text{ дМ}$$

$$\theta(v_d) = \theta(0,587) = 1,765 \quad \theta(v_k) = \theta(0,477) = 0,885$$

$$t_d = t_k + \frac{2m_k}{\theta \cdot v_{\text{пр}}} [\theta(v_d) - \theta(v_k)] = 0,0048 \text{ сек} + \frac{2 \cdot 4,2 \text{ дМ}}{0,2 \cdot 11840 \frac{\text{дМ}}{\text{сек}}} \cdot (1,765 - 0,885) = 0,0079 \text{ сек}$$

Значения функций $\theta(v_d)$ и $\theta(v_k)$ брать из таблиц (Чурбанов, стр. 101)

Результаты расчета:

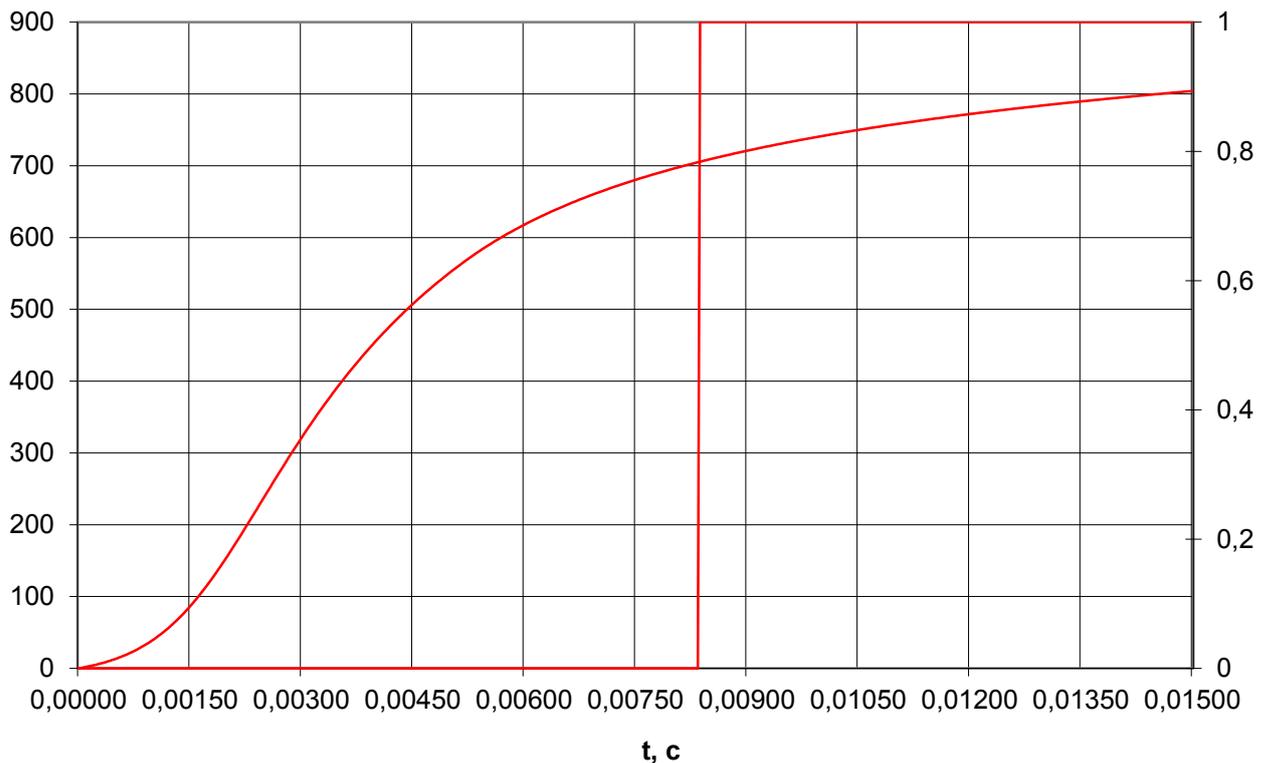
Опорные точки	z	$v, \frac{\text{дМ}}{\text{сек}}$	$l, \text{дМ}$	$p, \frac{\text{кГ}}{\text{дМ}^2}$	$t, \text{сек}$
0	0,022	0	0	30000	0
m	0,372	2102	1,633	$2,528 \cdot 10^5$	0,0021
k	1	5645	14,312	$1,048 \cdot 10^5$	0,0048
d	1	6956	33,91	$3,886 \cdot 10^4$	0,0079

Данные из расчета в программе Excel:

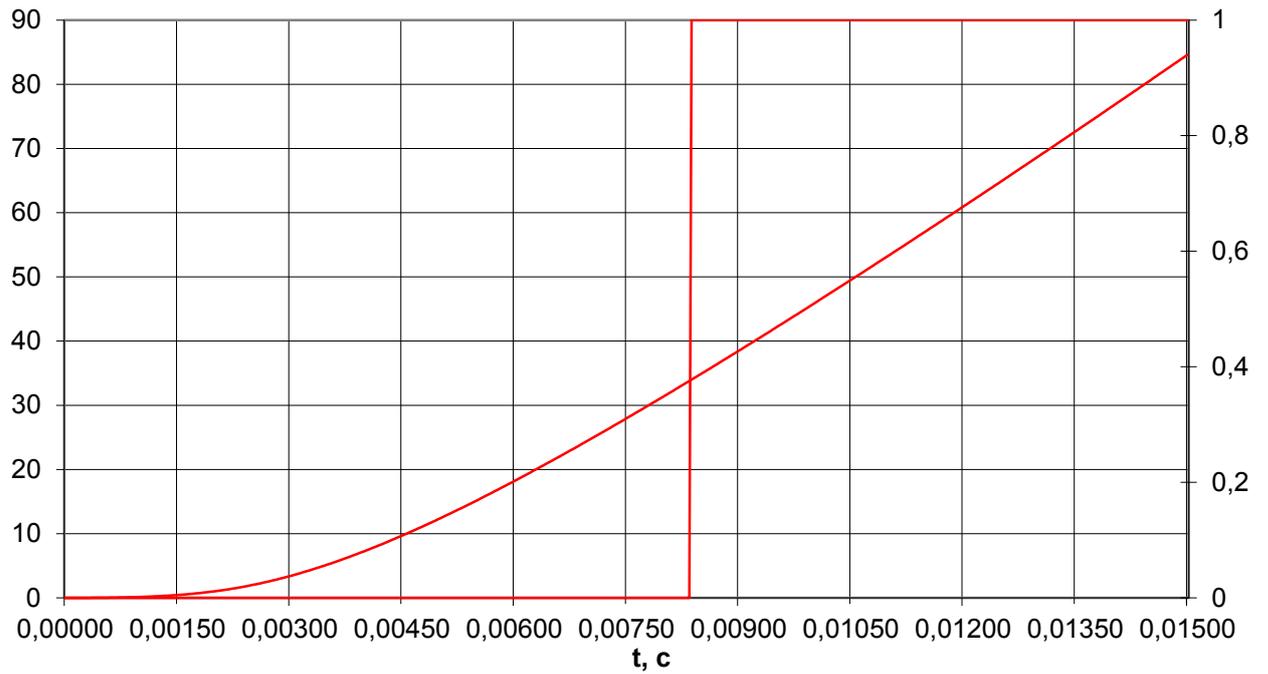
Опорные точки	z	$v, \frac{\text{дМ}}{\text{сек}}$	$l, \text{дМ}$	$p, \frac{\text{кГ}}{\text{дМ}^2}$	$t, \text{сек}$
0	0,021791	0	0	30000	0
m	0,319376	1718,106587	1,194808839	258550,1969	0,0021
k	0,947732	5345,922745	11,25648993	135961,4861	0,0048
d	1	6924,456472	30,64020725	46395,48421	0,00789

Пиродинамические кривые:

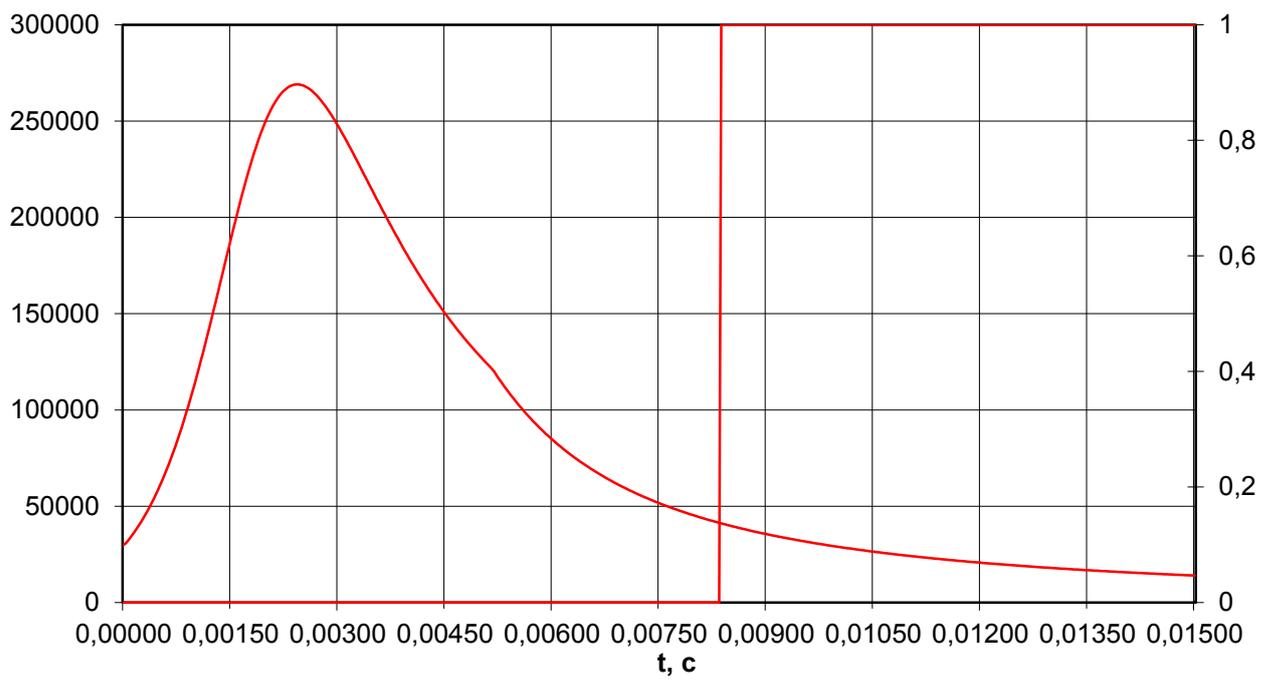
$v(t), \text{м/с}$

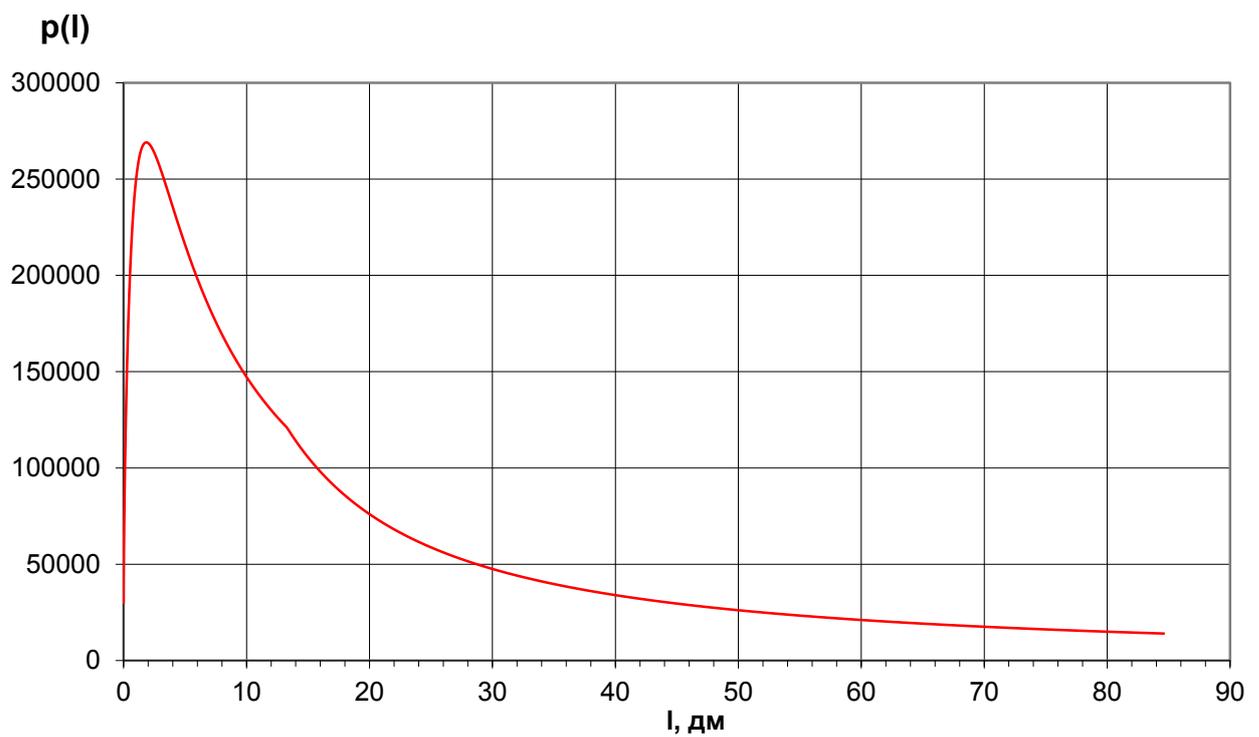
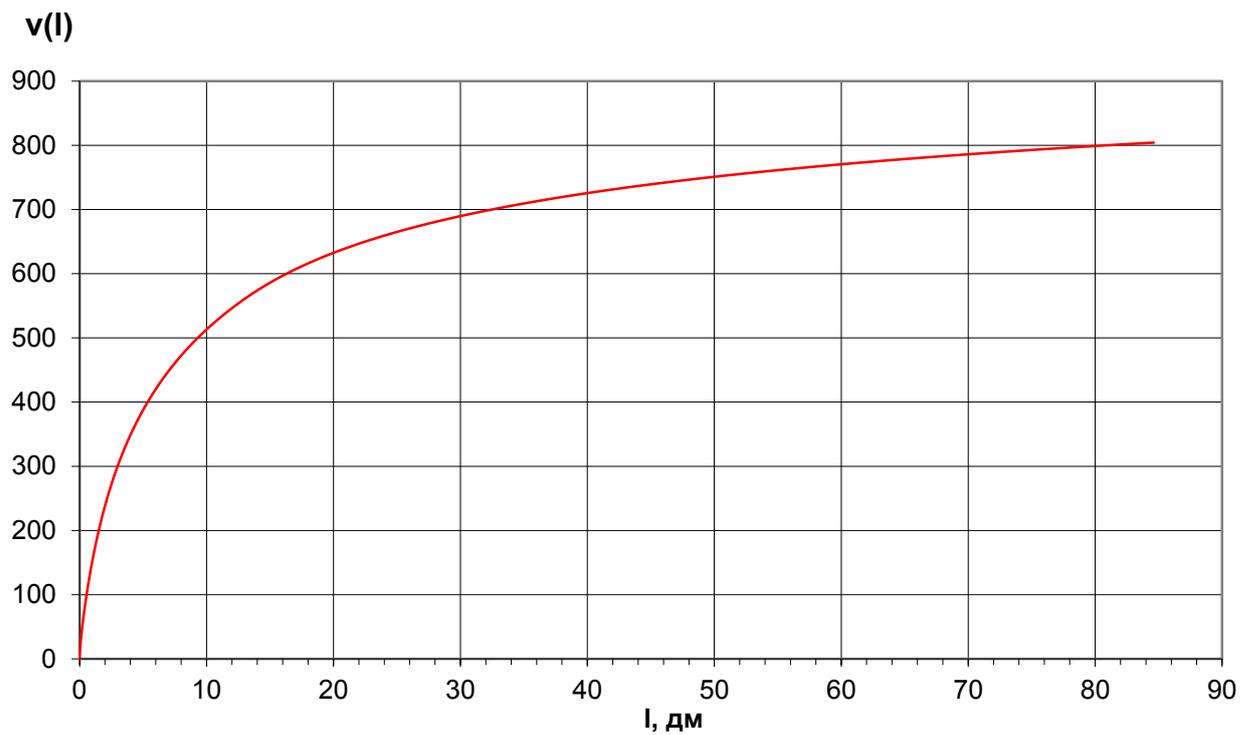


$l(t)$, дм



$\rho(t)$, кгс/дм²





Список литературы:

Внутренняя баллистика РДТТ [Электронный ресурс]: учебное пособие/ А.В. Алиев [и др.].— Электрон. текстовые данные.— М.: Машиностроение, 2007.— 504 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/5127.html>.— ЭБС «IPRbooks»

Паспорт экзамена

по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики», 8 семестр

1. Методика оценки

Экзамен проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу: первый вопрос выбирается из диапазона вопросов 1-15, второй вопрос из диапазона вопросов 16-30 (список вопросов приведен ниже). Время на подготовку составляет 40 минут. В ходе экзамена преподаватель вправе задавать студенту дополнительные вопросы из общего перечня (п. 4).

Форма экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФЛА

Билет № _____

к экзамену по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики»

1. Вопрос 1
2. Вопрос 2.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись) _____ (дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на экзаменационный билет считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает принципиальные ошибки, оценка составляет *0-19 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, при решении задачи допускает непринципиальные ошибки, например, вычислительные, оценка составляет *20-25 баллов*.
- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **базовом** уровне, если студент при

ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при решении задачи, оценка составляет 26-33 баллов.

- Ответ на экзаменационный билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, не допускает ошибок и способен обосновать выбор метода решения задачи, оценка составляет 34-40 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине экзаменационные баллы учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Экзамен считается сданным, если средняя сумма баллов по всем вопросам составляет не менее 20 баллов (из 40 возможных).

4. Вопросы к экзамену по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики»

Вопросы к экзамену по внешней баллистике

1. Назовите предмет и задачи дисциплины «Внешняя баллистика».
2. Почему движение снаряда или ракеты рассматривается как независимое движение центра масс и движение относительно центра масс?
3. Перечислите фамилии ученых, внесших основной вклад в становление и развитие внешней баллистики.
4. Движение снаряда в пустоте, параболическая теория, основные выводы параболической теории.
5. Настильные и навесные траектории, парабола безопасности.
6. Ускорение Кориолиса.
7. Земля и атмосфера, метеорологические факторы, влияющие на полет снаряда.
8. Международная стандартная атмосфера и нормальная артиллерийская атмосфера.
9. Физическая картина обтекания тела при его движении в атмосфере.
10. Аэродинамические силы и коэффициенты аэродинамических сил.
11. Дозвуковое и сверхзвуковое обтекание набегающим потоком.
12. Основные понятия об аэродинамической устойчивости не вращающегося и вращающегося снаряда, центр давления.
13. Расчетное и опытное определение аэродинамических коэффициентов снарядов.
14. Формулы сопротивления воздуха движению артснарядов, баллистический коэффициент.
15. Эталонные законы сопротивления воздуха.
16. Наивыгоднейшие формы снарядов.
17. Испытательные полигоны, основные виды внешнебаллистических испытаний снарядов.
18. Системы уравнений, описывающие движение снаряда в воздухе при различных аргументах, уравнение годографа.
19. Силы и моменты сил, действующие на вращающийся снаряд.
20. Элементы теории гироскопов.
21. Движение твердого вращающегося тела под действием момента сил.
22. Расчет устойчивости и правильности полета вращающегося снаряда.
23. Баллистические сборники и таблицы.
24. Основные понятия теории поправок.
25. Особенности баллистики артиллерийских мин.

26. Баллистика авиационных бомб.
27. Баллистика неуправляемых ракет.
28. Основные понятия теории рассеивания при стрельбе.
29. Определение вероятных отклонений по результатам отстрелов.
30. Факторы, определяющие рассеивание.

Пример экзаменационного билета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет ФЛА

Билет № 1

к экзамену по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики»

1. Назовите предмет и задачи дисциплины «Внешняя баллистика».
2. Основные понятия теории рассеивания при стрельбе.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ должность, ФИО
(подпись)
(дата)

Паспорт расчетно-графического задания

по дисциплине «Основы баллистики и аэродинамики», 8 семестр

1. Методика оценки

Должен быть вариант предложенный студенту. Должны быть выполнены все пункты задания. РГЗ должно быть оформлено аккуратно в формате MS Word.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ, оценка составляет 0-9 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если части РГЗ выполнены формально: студент не может объяснить, как он выполнял работу, оценка составляет 10-13 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если работа выполнена в полном объеме, студент может, в целом, объяснить, как он выполнял работу, но плохо владеет теорией, оценка составляет 14-17 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если работа выполнена в полном объеме, студент может объяснить, как он выполнял работу, хорошо владеет теоретическим материалом, оценка составляет 18-20 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Структура РГЗ

Задание № 2. Внешняя баллистика

1. Определить параметры траектории снаряда по параболической теории.
2. Определить параметры траектории снаряда по таблицам стрельбы.
3. Определить запас устойчивости снаряда на траектории.
4. Проверить расчетом правильность полета снаряда.
5. Определить параметры траектории по баллистическим сборникам.
6. Рассчитать поправки к параметрам траектории.

Пример оформления:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ УСТРОЙСТВ

РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОСНОВЫ БАЛЛИСТИКИ И АЭРОДИНАМИКИ»

Факультет: ФЛА
И.А.
Группа: МА-31
Выполнил: Лушникова А.А.

Преподаватель: Балаганский

Новосибирск, 201

Дано

Стрельба ведется из 122-мм гаубицы обр. 1938 г. на максимальную дальность на **третьем** заряде осколочно-фугасным снарядом ОФ-462. Масса снаряда $q=21,76$ кг, расстояние от центра тяжести до донного среза $x_{ц.м.}=214,6$ мм, высота головной части $H=275$ мм, длина снаряда $L=558$ мм, отношение моментов инерции (экваториального к осевому) $A/C=6,055$; калибр орудия $d=122$ мм, длина хода нарезов $\eta_{op}=36$ клб. Дует ветер, продольная составляющая которого равна $W_x=10$ м/с и направлена противоположно направлению движения снаряда, а поперечная – $W_z=10$ м/с и направлена влево. Весовой знак снаряда ++++. Прочих отклонений от табличных условий стрельбы нет.

Решение

1. По таблицам стрельбы [1] для данного орудия находим максимальную дальность при стрельбе на третьем заряде $D=8670$ м, для этой дальности найдем угол прицеливания $\alpha=45^{\circ}00'$ и начальную скорость $v_0=346$ м/с. Согласно параболической теории [2] дальность X , полетное время T и максимальная высота подъема снаряда на траектории Y вычисляются по следующим формулам:

$$X = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g} = \frac{(346 \text{ м/с})^2 \sin(2 \cdot 45^\circ)}{9,81 \text{ м/с}^2} = 12203 \text{ м}$$

$$T = \frac{2v_0 \sin \alpha}{g} = \frac{2 \cdot 346 \text{ м/с} \cdot \sin 45^\circ}{9,81 \text{ м/с}^2} = 49,87 \text{ с}$$

$$Y = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g} = \frac{(346 \text{ м/с})^2 \sin^2 45^\circ}{2 \cdot 9,81 \text{ м/с}^2} = 3050 \text{ м}$$

2. Согласно таблицам стрельбы [1], полетное время при стрельбе на шестом заряде под углом 45° к горизонту равно $T=45$ с, а максимальная высота подъема снаряда $Y=2400$ м, максимальная дальность $X=8670$ м

3. Запас устойчивости снаряда определим по следующей формуле [2]:

$$\eta = K \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{\mu C_q}{\frac{h}{d} \cdot \frac{A}{C} K_M \left(\frac{v}{a}\right) \cdot H(y)}}$$

где K – коэффициент запаса гироскопической устойчивости, μ – коэффициент осевого момента инерции, C_q – относительный вес снаряда, h – расстояние между центром тяжести и центром давления, K_M – коэффициент, зависящий от числа Маха, $H(y)$ – относительная плотность воздуха.

Снаряд наиболее неустойчив при вылете из канала ствола, поэтому $H(y)=1$. Остальные величины определим следующим образом [2]:

$$C_q = \frac{q}{d^3} = \frac{21,76 \text{ кг}}{(1,22 \text{ дм})^3} = 11,98 \text{ кг/дм}^3$$

$h=z_1+z_0$, где z_0 – расстояние от центра давления до основания оживала, z_1 – расстояние от центра тяжести до основания оживала.

$$z_1=0,57H+0,16d=0,57 \cdot 275 \text{ мм}+0,16 \cdot 122 \text{ мм}=176,27 \text{ мм}$$

$$z_0=L-H-x_{ц.м.}=558 \text{ мм}-275 \text{ мм}-214 \text{ мм}=69 \text{ мм}$$

$$\text{Тогда } h=z_1+z_0=176,27 \text{ мм}+69 \text{ мм}=245 \text{ мм}$$

Коэффициент μ примем равным 0,6; коэффициент K – равным 0,95 [2].

Коэффициент $K_M(v/a)$ определим по следующей таблице, взятой из [2]:

$v, \text{ м/с}$	0-200	300	400	600	800	1100
$K_M \times 10^3, \text{ кг/дм}^3$	0,97	1,13	1,39	1,35	1,32	1,30

Согласно этой таблице, при начальной скорости $v_0=346 \text{ м/с}$, $K_M=0,00113 \text{ кг/дм}^3$. Подставляя полученные значения в исходную формулу, получим:

$$\eta = 0,95 \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{0,6 \cdot 11,92 \text{ кг/дм}^3}{\frac{245 \text{ мм}}{122 \text{ мм}} \cdot 6,055 \cdot 0,00113 \text{ кг/дм}^3}} = 34,16 \text{ клб}$$

Устойчивость считается обеспеченной, если η отличается от η_{op} на 2-3 калибра.

Так как $\eta=34,16 \text{ клб}$, а $\eta_{op}=36 \text{ клб}$, то устойчивость снаряда обеспечена.

4. Показателем правильности полета снаряда считается угол отклонения динамической оси снаряда от касательной к его траектории [2]. Проверку правильности будем производить для верхней точки траектории, поскольку в ней данный угол должен быть наибольшим (в верхней точке траектории скорость изменения угла наклона касательной к траектории максимальна). Расчет будем производить по следующей формуле:

$$\alpha_{gs} = \frac{\pi g}{2} \frac{\mu C_q v_0 d}{\eta_{op} \frac{h}{d} H(y) v_s^3 \cdot K_M \left(\frac{v}{a} \right)},$$

где v_s – скорость снаряда в верхней точке траектории.

v_s можно приближенно найти как среднее арифметическое начальной и конечной горизонтальных компонент скоростей (v_c и θ_c определим из [1], $v_c=259 \text{ м/с}$, $\theta_c=52^{\circ}00'$):

$$v_s = \frac{v_0 \cos \alpha + v_c \cos \theta_c}{2} = \frac{346 \text{ м/с} \cdot \cos 45^{\circ} + 259 \text{ м/с} \cdot \cos 52^{\circ}}{2} = 202 \text{ м/с}$$

$K_M(v/a)$ для данной скорости будет равен $K_M(v/a)=0,00113 \text{ кг/дм}^3$.

Так как расчеты ведутся для верхней точки траектории и $Y=2400 \text{ м}$, то изменением плотности с высотой пренебрегать нельзя. Найдем относительную плотность воздуха по формуле Ветчинкина:

$$H(y) = \frac{20 - y}{20 + y} = \frac{20 \text{ км} - 2,4 \text{ км}}{20 \text{ км} + 2,4 \text{ км}} = 0,785.$$

Тогда

$$\alpha_{gs} = \frac{\pi g}{2} \frac{\mu C_q v_0 d}{\eta_{op} \frac{h}{d} H(y) v_s^3 \cdot K_M \left(\frac{v}{a} \right)} = \frac{\pi \cdot 9,81 \text{ м/с}^2}{2} \frac{0,6 \cdot 11,98 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3} \cdot 3460 \text{ дм/с} \cdot 1,22 \text{ дм}}{36 \text{ клб} \cdot \frac{245 \text{ мм}}{122 \text{ мм}} \cdot 0,785 \cdot (2020 \text{ дм/с})^3 \cdot 0,00113 \frac{\text{кг}}{\text{дм}^3}} =$$

$$= 0,0088 \text{ радиан} = 0,5^{\circ}$$

Полет снаряда считается правильным, если $\alpha_{gs} < 6^{\circ}$. В данном случае $\alpha_{gs}=0,5^{\circ}$, т.е. снаряд летит правильно на всей траектории.

5. Определение основных параметров траектории снаряда по баллистическим таблицам.

Определим дальность снаряда по баллистическим таблицам, построенным для закона сопротивления воздуха 1943 г. Баллистические таблицы [3] представляют из себя таблицы, содержащие значения дальности в зависимости от начальной скорости, угла прицеливания и так называемого баллистического коэффициента, определяемого по

следующей формуле: $c = \frac{id^2 1000}{q} \frac{\Pi_0}{\Pi_{0N}}$, где i – коэффициент формы, определяющий

отличие формы рассматриваемого снаряда от эталонного для данного закона сопротивления снаряда [1], Π_0/Π_{0N} – отношение плотности воздуха в месте стрельбы к эталонной плотности воздуха.

$$c = \frac{id^2 1000 \Pi_0}{q \Pi_{0N}} = 0,598 \text{ м}^2 / \kappa\Gamma$$

Так как таблицы составлены с определенным шагом, то, скорее всего, полученного значения баллистического коэффициента в таблице не окажется. Тогда придется пользоваться линейной интерполяцией (данные взяты из [3]). Первую интерполяцию произведем по скорости, вторую – по баллистическому коэффициенту.

$c, \text{ м}^2 / \kappa\Gamma$	$v_0, \text{ м/с}$		
	320	346	350
0,55	8021	$X_1=8840$	8967
0,598		$X_3=8655$	
0,60	7867	$X_2=8647$	8767

$$X_1 = 8021 \text{ м} + \frac{8167 \text{ м} - 8021 \text{ м}}{30 \text{ м/с}} 26 \text{ м/с} = 8840 \text{ м}$$

$$X_2 = 7867 \text{ м} + \frac{8767 \text{ м} - 7867 \text{ м}}{30 \text{ м/с}} 26 \text{ м/с} = 8647 \text{ м}$$

$$X_3 = 8840 \text{ м} + \frac{8647 \text{ м} - 8840 \text{ м}}{0,6 \text{ м}^2 / \kappa\Gamma - 0,55 \text{ м}^2 / \kappa\Gamma} 0,048 \text{ м}^2 / \kappa\Gamma = 8655 \text{ м}$$

6. Рассчитаем поправки к дальности и сравним с данными таблиц стрельбы. Сначала рассчитаем поправку на боковой ветер. Согласно [2], поправка на боковой ветер рассчитывается по формуле:

$$Z = W_z \left(T - \frac{X}{v_0 \cos \alpha} \right) = 10 \text{ м/с} \cdot \left(45 \text{ с} - \frac{8670 \text{ м}}{346 \text{ м/с} \cdot \cos 45^\circ} \right) = 95,63 \text{ м}$$

По таблицам стрельбы [1] на 10 м/с бокового ветра должна быть введена угловая поправка в 10 тысячных. Так как 10 тысячных это $\frac{10}{6000} 360^\circ = 0,6^\circ$, то величина поправки в метрах

будет равна $Z = 8670 \text{ м} \cdot \text{tg} 0,6^\circ = 90,79 \text{ м}$.

Теперь рассчитаем поправку на продольный ветер, дующий навстречу снаряду [2] (частные производные взяты из таблиц стрельбы):

$$\Delta X = W_x \left(T - \frac{\partial X}{\partial v_0} \cos \alpha + \frac{\partial X}{\partial \alpha} \sin \alpha \right) = 10 \text{ м/с} \cdot \left(45 \text{ с} - 28,03 \frac{\text{м}}{\text{м/с}} \cdot \cos 45^\circ \right) = 251,8 \text{ м}$$

$\frac{\partial X}{\partial v_0}$ в таблицах стрельбы дана на изменение начальной скорости на 1%. Поэтому для

получения $\frac{\partial X}{\partial v_0}$ в м/(м/с) необходимо эту величину поделить на 0,01 v_0 .

$$\frac{\partial X}{\partial v_0} = \frac{97}{0,01 \cdot 346 \text{ м/с}} = 28,03 \text{ м/м/с}$$

Поскольку величина $\frac{\partial X}{\partial \alpha} \sin \alpha$ мала по сравнению с остальными слагаемыми, то в расчете

мы её не учитываем. $\frac{\partial X}{\partial \alpha} \sin \alpha$ мала, поскольку стрельба ведется на предельную дальность

и малое изменение угла прицеливания практически не влияет на дальность.

Осталось рассчитать поправку на вес. Согласно [2], она рассчитывается по формуле:

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial c} \frac{c}{q} \Delta q - \frac{\partial X}{\partial v_0} \frac{v_0}{q} 0,4 \Delta q. \text{ Так как весовой знак снаряда ++++, то } \frac{\Delta q}{q} = 0,0267.$$

Величину $\frac{\partial X}{\partial c}$ приблизительно определим из использованной нами ранее части баллистической таблицы:

$$\frac{\partial X}{\partial c} = \frac{\Delta X}{\Delta c} = \frac{8840 м - 8647 м}{0,55 \frac{м^2}{кг} - 0,60 \frac{м^2}{кг}} = 3860 \frac{кг}{м}$$

Тогда

$$\Delta X = \frac{\partial X}{\partial c} \frac{c}{q} \Delta q - \frac{\partial X}{\partial v_0} \frac{v_0}{q} 0,4 \Delta q = -3860 \frac{кг}{м} \cdot 0,598 \frac{м^2}{кг} \cdot 0,0267 + 28,03 \frac{м}{м/с} \cdot 346 м/с \cdot 0,4 \cdot 0,0267 = 41,94 м$$

По таблицам стрельбы при изменении веса снаряда на один весовой знак происходит изменение дальности на 8 м, т.е. при изменении веса снаряда на 4 весовых знака произойдет изменение дальности на 32 м.

Выводы:

1. При малых начальных скоростях и малых дальностях результаты, полученные при помощи параболической теории, удовлетворительно согласуются с данными таблиц стрельбы.
2. Поправки, рассчитанные в предположении независимости влияния различных факторов, хорошо согласуются с поправками, приведенными в таблицах стрельбы.

Список использованной литературы

1. Таблицы стрельбы 122-мм гаубицы обр. 1938г. (ТС ГАУ №155), пятое издание – М.: Военное издательство МО СССР, 1957 г.
2. Балаганский И.А. Конспект лекций по дисциплине "Основы баллистики и аэродинамики" – Новосибирск: НГТУ, 2014 г.
3. Баллистические сборники для закона сопротивления 1943 г.