

1 Выбор типов артиллерийских установок

Для выполнения составной части опытно-конструкторской работы по теме “Модельер 1”, связанной с разработкой программного обеспечения виртуальной имитационной модели артиллерийского выстрела, были выбраны 3 установки.

1. 30-мм авиационная пушка АО-18 (см. рисунок 1.1), выстрелы осколочно-трассирующим (ОТ-30) и осколочно-фугасным (ОФЗ) снарядами (см. рисунок 1.2) с зарядом из пороха 6/7фл (см. рисунок 1.3).

Информация о характеристиках установки АО-18, снарядов и заряда приведена в таблицах 1.1 – 1.4.

Таблица 1.1 – Характеристики установки АО-18

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Диаметр каморы	$D_{\text{км}}$	м	0,03987
Диаметр канала ствола	$D_{\text{кн}}$	м	0,03
Начало уширения	L_1	м	0,027
Конец уширения	L_2	м	0,127
Длина каморы	$L_{\text{км}}$	м	0,143
Длина канала ствола	$L_{\text{кн}}$	м	1,632
Теплоемкость металла установки	$c_{\text{уст}}$	Дж·кг/К	462
Теплопроводность металла установки	$\lambda_{\text{уст}}$	Вт/(с·К)	47
Плотность металла установки	$\delta_{\text{уст}}$	кг/м ³	7800

Таблица 1.2 – Характеристики осколочно-трассирующего и осколочно-фугасного снарядов

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Масса	$q_{\text{сн}}$	кг	0,386
Дульная скорость	$v_{\text{д}}$	м/с	890
Максимальное давление	$p_{\text{м}}$	МПа	350

Таблица 1.3 – Характеристики пороха заряда 6/7фл

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Масса	ω	кг	0,118
Число каналов в пороховом элементе	n	—	7
Внешний диаметр порохового элемента	D_0	м	0,0033
Диаметр канала порохового элемента	d_0	м	0,00021

Продолжение таблицы 1.3

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Длина порохового элемента	L_0	м	0,00459
Толщина горящего свода	$2e_1$	м	0,0006675
Теплоемкость пороха	c_p	Дж/(кг·К)	1298
Теплопроводность пороха	λ_p	Вт/(с К)	0,13
Плотность пороха	δ_p	кг/м ³	1550
Тепловыделение в к-фазе	Q_k	Дж/кг	3450000
Предэкспонент	Z_k	1/с	6000000000
Энергия активации	E_k	Дж/моль	22000
Сила пороха	f	Дж/кг	1000000
Единичная скорость горения	u_1	м ³ /(Н·с)	7,1e-10
Коволуом	α	м ³ /кг	0,00097
Удельная газовая постоянная продуктов горения пороха (ПГП)	$R_{ппп}$	Дж/(кг·К)	346,9
Теплоемкость ПГП при постоянном объеме	c_v	Дж/(кг·К)	1497,4
Теплоемкость ПГП при постоянном давлении	c_p	Дж/(кг·К)	1838,8
Теплопроводность ПГП	$\lambda_{ппп}$	Вт/(с К)	0,117
Вязкость ПГП	$\mu_{ппп}$	кг/(м·с)	5,18e-05

Таблица 1.4 – Характеристики воспламенителя

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Масса	ω_v	кг	0,005
Диаметр зерна воспламенителя	D_0	м	0,001
Теплоемкость пороха воспламенителя	c_p	Дж/(кг·К)	1555
Плотность пороха воспламенителя	δ_p	кг/м ³	1550
Теплотворная способность пороха воспламенителя	Q_v	Дж/кг	2930000
Коэффициент скорости горения	A_0	(с·Па ^{0,2}) ⁻¹	12,65
Удельная газовая постоянная продуктов горения воспламенителя (ПГВ)	$R_{пгв}$	Дж/(кг·К)	327
Теплоемкость ПГВ при постоянном объеме	c_v	Дж/(кг·К)	1260
Теплопроводность ПГВ	$\lambda_{пгв}$	Вт/(с К)	0,117
Вязкость ПГВ	$\mu_{пгв}$	кг/(м·с)	7,13e-05

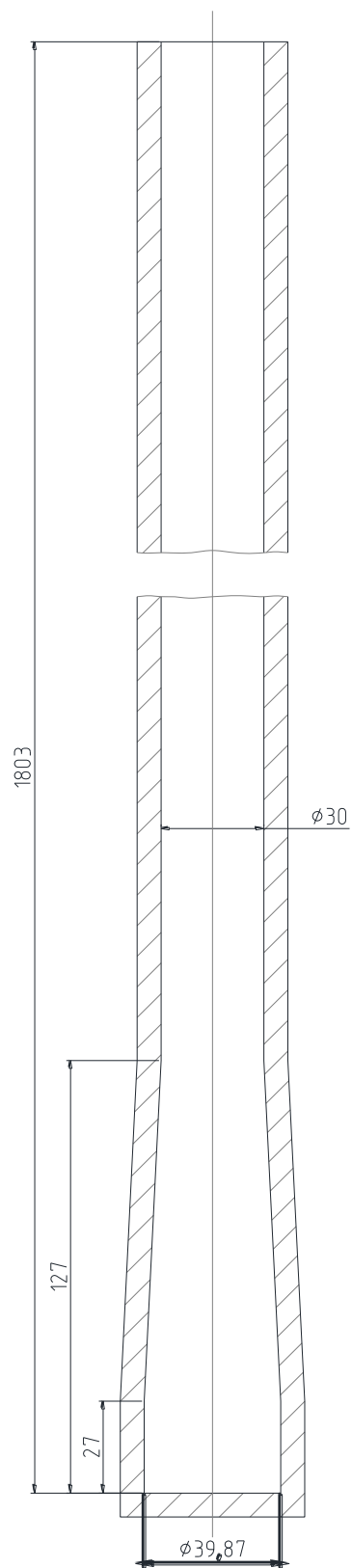


Рисунок 1.1 – Эскиз 30-мм авиационной пушки АО-18

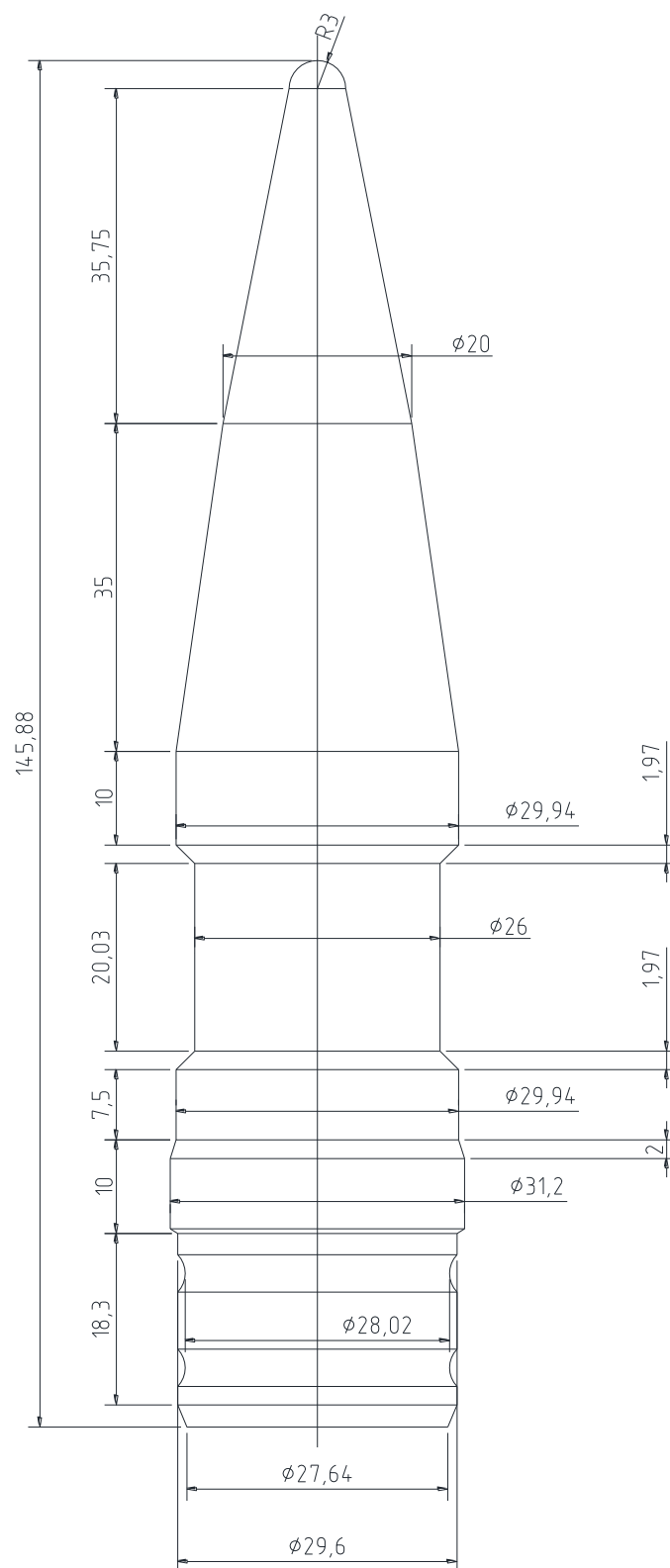


Рисунок 1.2 – Эскиз осколочно-трассирующего (осколочно-фугасного) снаряда

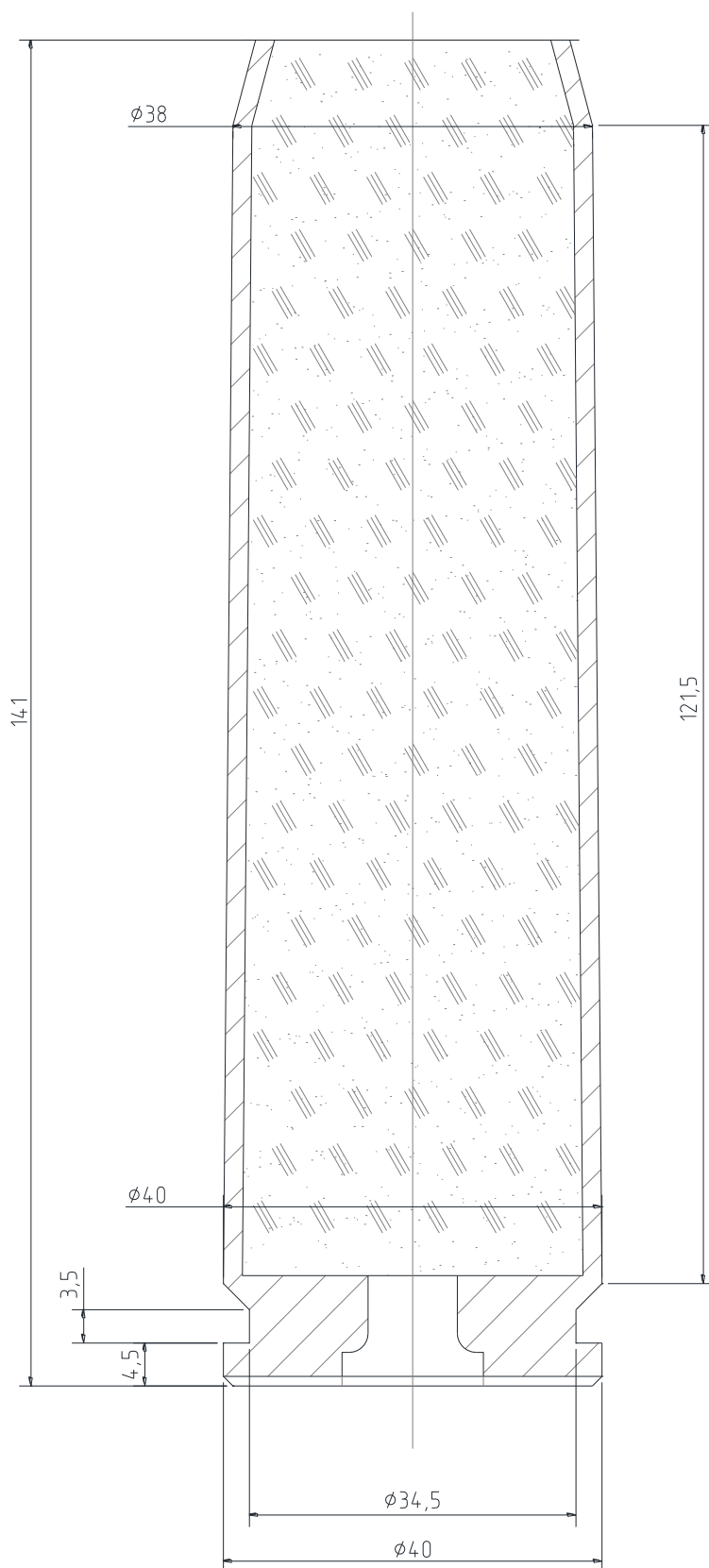


Рисунок 1.3 – Эскиз заряда из пороха 6/7фл

2. 152-мм гаубица 2А36 (см. рисунок 1.4), выстрел осколочно-фугасным снарядом ОФ29 (см. рисунок 1.5) с зарядом 4Ж47 (см. рисунок 1.6).

Информация о характеристиках установки 2А36, снарядов и зарядов приведена в таблицах 1.5 - 1.8.

Таблица 1.5 – Характеристики установки 2А36

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Диаметр камеры	$D_{\text{км}}$	м	0,214
Начало уширения 1	L_1	м	0
Конец уширения 1	L_2	м	0,85
Диаметр в конце уширения 1	D_1	м	0,196
Начало уширения 2	L_3	м	0,85
Конец уширения 2	L_4	м	0,960
Диаметр в конце уширения 2	D_2	м	0,164
Начало уширения 3	L_5	м	0,960
Конец уширения 3	L_6	м	1,015
Диаметр в конце уширения 3	D_3	м	0,155
Начало уширения 4	L_7	м	1,015
Конец уширения 4	L_8	м	1,045
Диаметр в конце уширения 4	D_4	м	0,155
Начало уширения 5	L_9	м	1,045
Конец уширения 5	L_{10}	м	1,1225
Диаметр канала ствола	$D_{\text{кн}}$	м	0,1524
Длина камеры	$L_{\text{км}}$	м	1,015
Длина канала ствола	$L_{\text{кн}}$	м	6,322
Теплоемкость металла установки	$c_{\text{уст}}$	Дж·кг/К	462
Теплопроводность металла установки	$\lambda_{\text{уст}}$	Вт/(с К)	47
Плотность металла установки	$\delta_{\text{уст}}$	кг/м ³	7800

Таблица 1.6 – Характеристики осколочно-фугасного снаряда ОФ29

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Масса	$q_{\text{сн}}$	кг	46
Дульная скорость	$v_{\text{д}}$	м/с	945
Максимальное давление	$p_{\text{м}}$	МПа	321,6

Таблица 1.7 – Характеристики пороха 22/7 заряда 4Ж47

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Масса	ω	кг	19
Число каналов в пороховом элементе	n	–	7
Внешний диаметр порохового элемента	D_0	м	0,0115
Диаметр канала порохового элемента	d_0	м	0,0009
Длина порохового элемента	L_0	м	0,019
Толщина горящего свода	$2e_1$	м	0,0022
Теплоемкость пороха	$c_{\text{п}}$	Дж/(кг·К)	1298
Теплопроводность пороха	$\lambda_{\text{п}}$	Н/(с К)	0,13
Плотность пороха	$\delta_{\text{п}}$	кг/м ³	1520
Тепловыделение в к-фазе	$Q_{\text{к}}$	Дж/кг	3450000
Предэкспонент	$Z_{\text{к}}$	1/с	60000000000
Энергия активации	$E_{\text{к}}$	Дж/моль	22000
Сила пороха	f	Дж/кг	900000
Единичная скорость горения	u_1	м ³ /(Н·с)	5,9e-10
Коволум	α	м ³ /кг	0,00095
Удельная газовая постоянная продуктов горения пороха (ПГП)	$R_{\text{ппп}}$	Дж/(кг·К)	346,9
Теплоемкость ПГП при постоянном объеме	c_v	Дж/(кг·К)	1497,4
Теплоемкость ПГП при постоянном давлении	c_p	Дж/(кг·К)	1838,8
Теплопроводность ПГП	$\lambda_{\text{ппп}}$	Н/(с К)	0,117
Вязкость ПГП	$\mu_{\text{ппп}}$	кг/(м·с)	5,18e-05

Таблица 1.8 – Характеристики воспламенителя

Параметр	Обозначение	Размерность	Воспламенитель 1	Воспламенитель 2	Воспламенитель 3
Масса	$\omega_{\text{в}}$	кг	0,100	0,430	0,280
Диаметр зерна воспламенителя	D_0	м	0,001	0,001	0,001
Теплоемкость пороха воспламенителя	$c_{\text{п}}$	Дж/(кг·К)	1555	1555	1555
Плотность пороха воспламенителя	$\delta_{\text{п}}$	кг/м ³	1550	1550	1550

Продолжение таблицы 1.8

Параметр	Обозначение	Размерность	Воспламенитель 1	Воспламенитель 2	Воспламенитель 3
Теплотворная способность пороха воспламенителя	Q_v	Дж/кг	2930000	2930000	2930000
Коэффициент скорости горения	A_0	$(с \cdot Па^{0,2})^{-1}$	12,65	12,65	12,65
Удельная газовая постоянная продуктов горения воспламенителя (ПГВ)	$R_{ПГВ}$	Дж/(кг·К)	327	327	327
Теплоемкость ПГВ при постоянном объеме	c_v	Дж/(кг·К)	1260	1260	1260
Теплопроводность ПГВ	$\lambda_{ПГВ}$	Вт/(с К)	0,117	0,117	0,117
Вязкость ПГВ	$\mu_{ПГВ}$	кг/(м·с)	7,13e-05	7,13e-05	7,13e-05

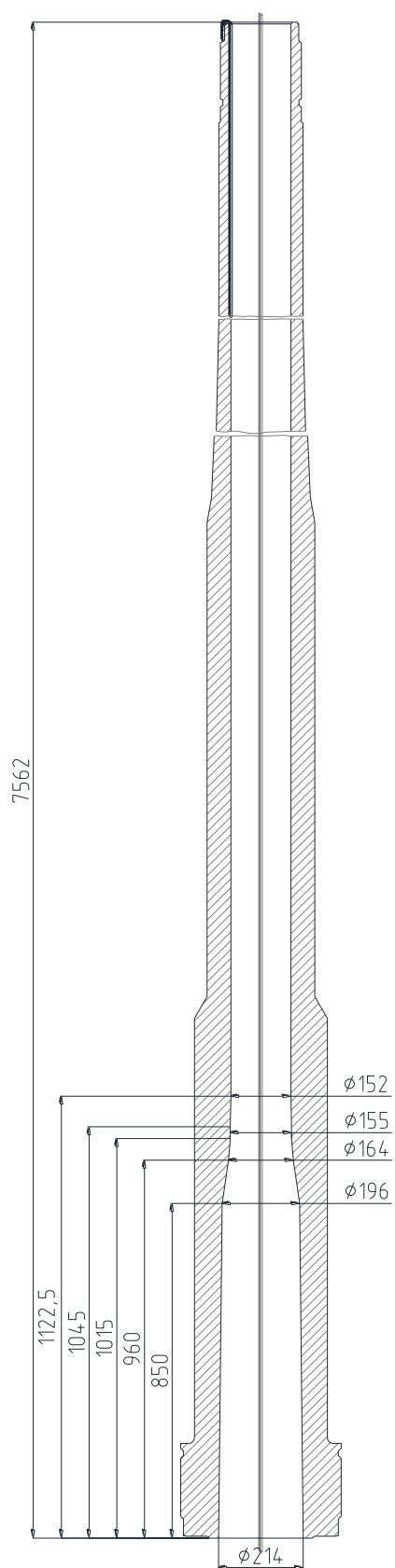


Рисунок 1.4 – Эскиз 152-мм гаубицы 2А36

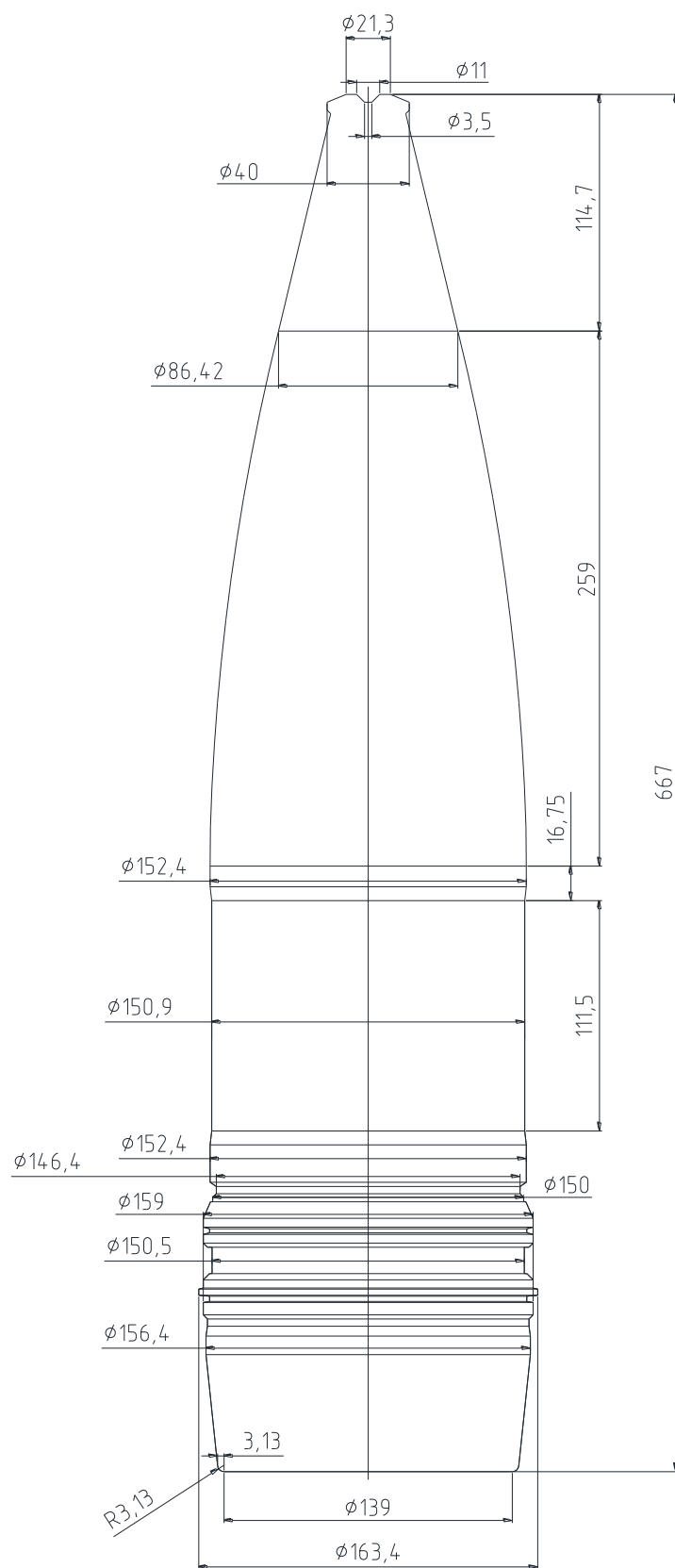


Рисунок 1.5 – Эскиз осколочно-фугасного снаряда ОФ29

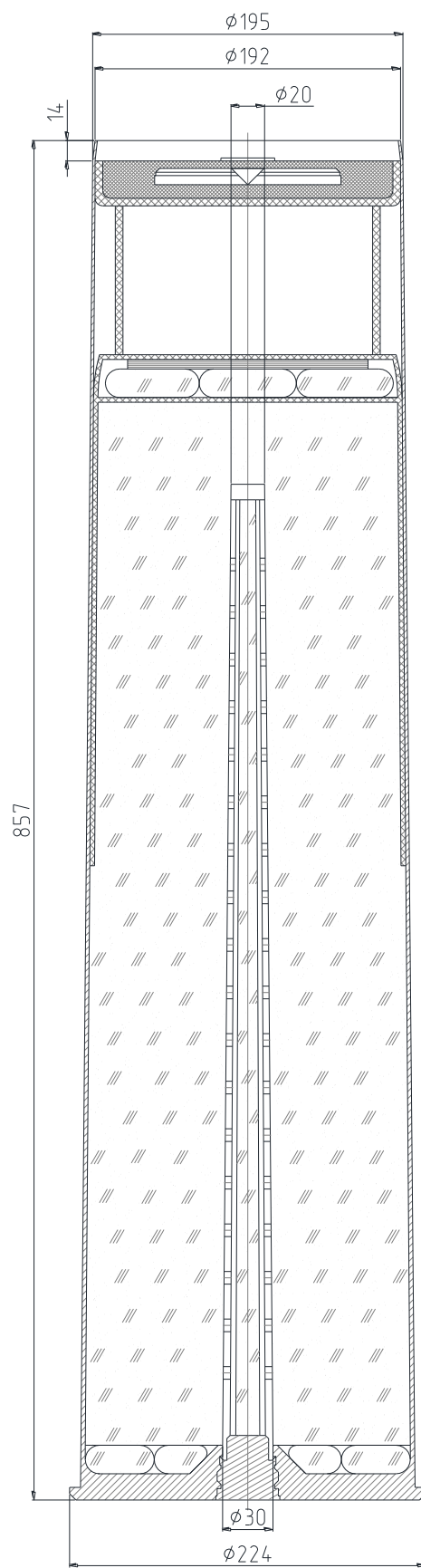


Рисунок 1.6 – Эскиз заряда 4Ж47

3. 125 мм танковая пушка 2А46 (см. рисунок 1.7), выстрелы осколочно-фугасным снарядом 3ОФ26 (см. рисунок 1.8) с зарядом 4Ж63 (см. рисунок 1.9) и бронебойным подкалиберным снарядом 3БМ42 (см. рисунок 1.10) с дополнительным зарядом (см. рисунок 1.11).

Информация о характеристиках установки 2А46, снарядов и зарядов приведена в таблицах 1.9 - 1.10.

Таблица 1.9 – Характеристики установки 2А46

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Диаметр каморы	$D_{\text{км}}$	м	0,16
Начало уширения 1	L_1	м	0,392
Конец уширения 1	L_2	м	0,482
Диаметр в конце уширения 1	D_1	м	0,13
Начало уширения 2	L_3	м	0,8
Конец уширения 2	L_4	м	0,84
Диаметр канала ствола	$D_{\text{кн}}$	м	0,125
Длина каморы	$L_{\text{км}}$	м	0,84
Длина канала ствола	$L_{\text{кн}}$	м	5,16
Теплоемкость металла установки	$c_{\text{уст}}$	Дж·кг/К	462
Теплопроводность металла установки	$\lambda_{\text{уст}}$	Н/(с К)	47
Плотность металла установки	$\delta_{\text{уст}}$	кг/м ³	7800

Таблица 1.10 – Характеристики осколочно-фугасного снаряда 3ОФ26

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Масса	$q_{\text{сн}}$	кг	23
Дульная скорость	$v_{\text{д}}$	м/с	870
Максимальное давление	$p_{\text{м}}$	МПа	324

Таблица 1.11 – Характеристики порохов заряда 4Ж63 к снаряду 3ОФ26

Параметр	Обозначение	Размерность	АПЦ-235П 16/1	16/1 тр ВА
Масса сгораемого корпуса гильзы	$\omega_{\text{сг}}$	кг	0,64	
Масса пороха	ω	кг	4,6	0,7
Число каналов в пороховом элементе	n	—	1	1
Внешний диаметр порохового элемента	D_0	м	0,0063	0,0049
Диаметр канала порохового элемента	d_0	м	0,0031	0,0016

Продолжение таблицы 1.11

Параметр	Обозначение	Размерность	АПЦ-235П 16/1	16/1 тр ВА
Длина порохового элемента	L_0	м	0,35	0,35
Толщина горящего свода	$2e_1$	м	0,0016	0,00165
Теплоемкость пороха	$c_{\text{п}}$	Дж/(кг·К)	1298	1298
Теплопроводность пороха	$\lambda_{\text{п}}$	Н/(с К)	0,13	0,13
Плотность пороха	$\delta_{\text{п}}$	кг/м ³	1620	1520
Тепловыделение в к-фазе	$Q_{\text{к}}$	Дж/кг	3450000	3450000
Предэкспонент	$Z_{\text{к}}$	1/с	60000000000	60000000000
Энергия активации	$E_{\text{к}}$	Дж/моль	22000	22000
Сила пороха	f	Дж/кг	1000000	1000000
Единичная скорость горения	u_1	м ³ /(Н·с)	6,7e-10	6,7e-10
Коволюм	α	м ³ /кг	0,00097	0,00097
Удельная газовая постоянная продуктов горения пороха (ППП)	$R_{\text{ппп}}$	Дж/(кг·К)	346,9	346,9
Теплоемкость ППП при постоянном объеме	c_v	Дж/(кг·К)	1497,4	1497,4
Теплоемкость ППП при постоянном давлении	c_p	Дж/(кг·К)	1838,8	1838,8
Теплопроводность ППП	$\lambda_{\text{ппп}}$	Н/(с К)	0,117	0,117
Вязкость ППП	$\mu_{\text{ппп}}$	кг/(м·с)	5,18e-05	5,18e-05

Таблица 1.12 – Характеристики бронебойно-подкалиберного снаряда 3БМ42

Параметр	Обозначение	Размерность	Значение
Масса	$q_{\text{сн}}$	кг	7,05
Дульная скорость	$v_{\text{д}}$	м/с	1700
Максимальное давление	$p_{\text{м}}$	МПа	443,8

Таблица 1.13 – Характеристики порохов дополнительного заряда к снаряду 3БМ42

Параметр	Обозначение	Размерность	16/7 ВА	16/1 тр ВА
Масса сгораемого корпуса гильзы	$\omega_{\text{ст}}$	кг	0,845	
Масса пороха	ω	кг	0,45	2,45
Число каналов в пороховом элементе	n	—	7	1
Внешний диаметр порохового элемента	D_0	м	0,0068	0,0049
Диаметр канала порохового элемента	d_0	м	0,0006	0,0016

Продолжение таблицы 1.13

Параметр	Обозначение	Размерность	16/7 ВА	16/1 тр ВА
Длина порохового элемента	L_0	м	0,00825	0,245
Толщина горящего свода	$2e_1$	м	0,00125	0,00165
Теплоемкость пороха	$c_{\text{п}}$	Дж/(кг·К)	1298	1298
Теплопроводность пороха	$\lambda_{\text{п}}$	Н/(с К)	0,13	0,13
Плотность пороха	$\delta_{\text{п}}$	кг/м ³	1540	1540
Тепловыделение в к-фазе	$Q_{\text{к}}$	Дж/кг	3450000	3450000
Предэкспонент	$Z_{\text{к}}$	1/с	60000000000	60000000000
Энергия активации	$E_{\text{к}}$	Дж/моль	22000	22000
Сила пороха	f	Дж/кг	1000000	1000000
Единичная скорость горения	u_1	м ³ /(Н·с)	6,7e-10	6,7e-10
Коволум	α	м ³ /кг	0,00097	0,00097
Удельная газовая постоянная продуктов горения пороха (ППП)	$R_{\text{ппп}}$	Дж/(кг·К)	346,9	346,9
Теплоемкость ППП при постоянном объеме	c_v	Дж/(кг·К)	1497,4	1497,4
Теплоемкость ППП при постоянном давлении	c_p	Дж/(кг·К)	1838,8	1838,8
Теплопроводность ППП	$\lambda_{\text{ппп}}$	Н/(с К)	0,117	0,117
Вязкость ППП	$\mu_{\text{ппп}}$	кг/(м·с)	5,18e-05	5,18e-05

Таблица 1.14 – Характеристики воспламенителя

Параметр	Обозначение	Размерность	Воспламенитель 1	Воспламенитель 2
Масса	$\omega_{\text{в}}$	кг	0,085	0,050
Диаметр зерна воспламенителя	D_0	м	0,001	0,001
Теплоемкость пороха воспламенителя	$c_{\text{п}}$	Дж/(кг·К)	1555	1555
Плотность пороха воспламенителя	$\delta_{\text{п}}$	кг/м ³	1550	1550
Теплотворная способность пороха воспламенителя	$Q_{\text{в}}$	Дж/кг	2930000	2930000
Коэффициент скорости горения	A_0	(с·Па ^{0,2}) ⁻¹	12,65	12,65
Удельная газовая постоянная продуктов горения воспламенителя (ПГВ)	$R_{\text{пгв}}$	Дж/(кг·К)	327	327
Теплоемкость ПГВ при постоянном объеме	c_v	Дж/(кг·К)	1260	1260
Теплопроводность ПГВ	$\lambda_{\text{пгв}}$	Н/(с К)	0,117	0,117
Вязкость ПГВ	$\mu_{\text{пгв}}$	кг/(м·с)	7,13e-05	7,13e-05

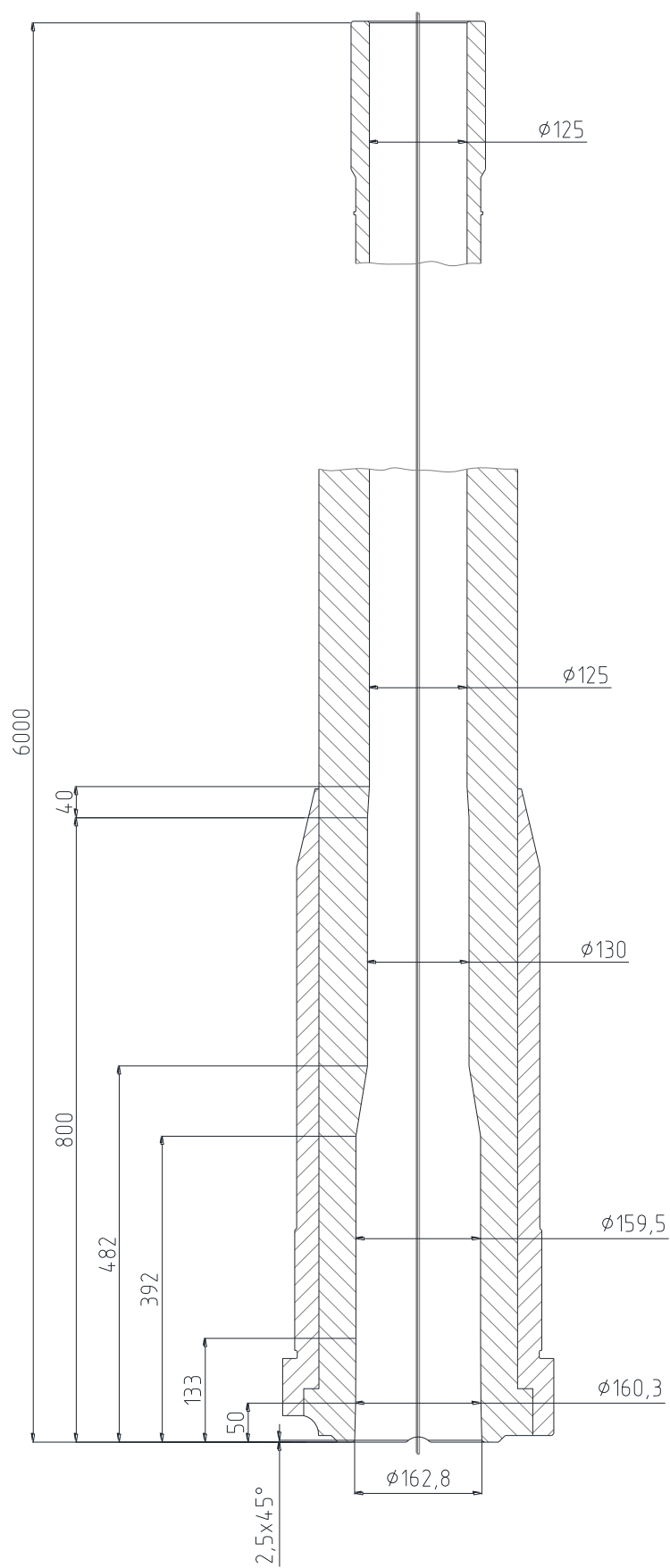


Рисунок 1.7 – Эскиз 125-мм танковой пушки 2А46

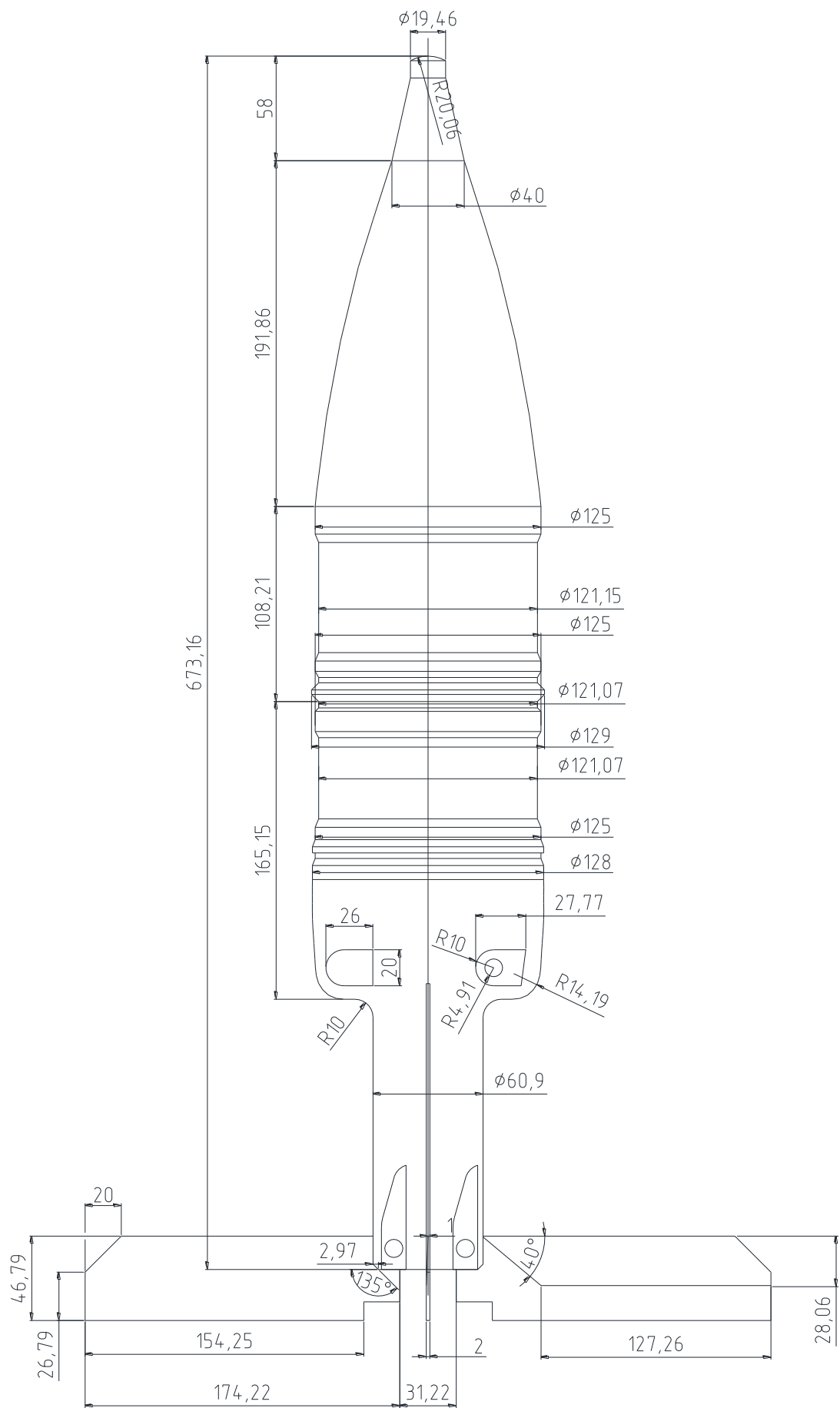


Рисунок 1.8 – Эскиз осколочно-фугасного снаряда 3ОФ26

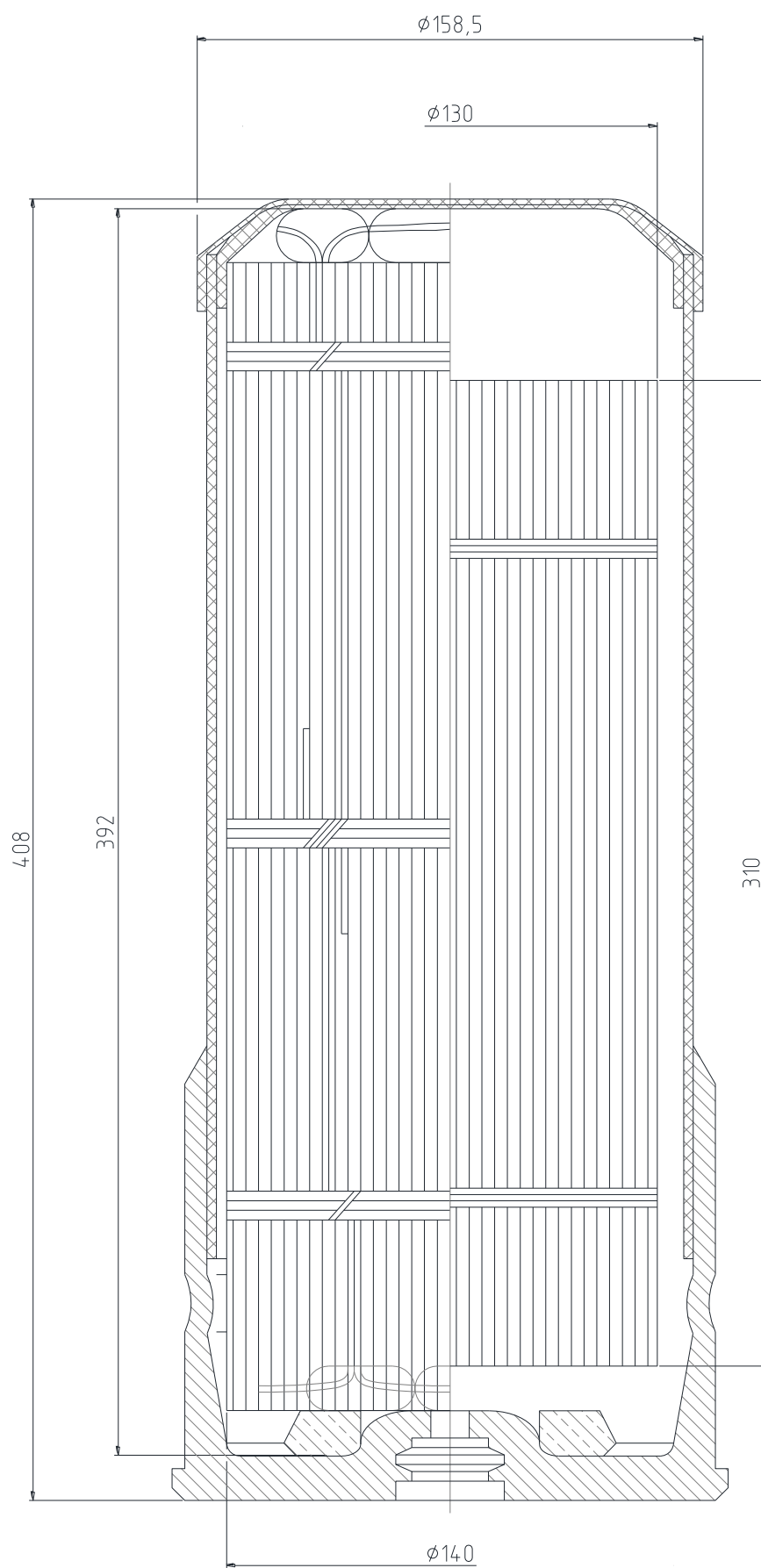


Рисунок 1.9 – Эскиз заряда 4Ж63

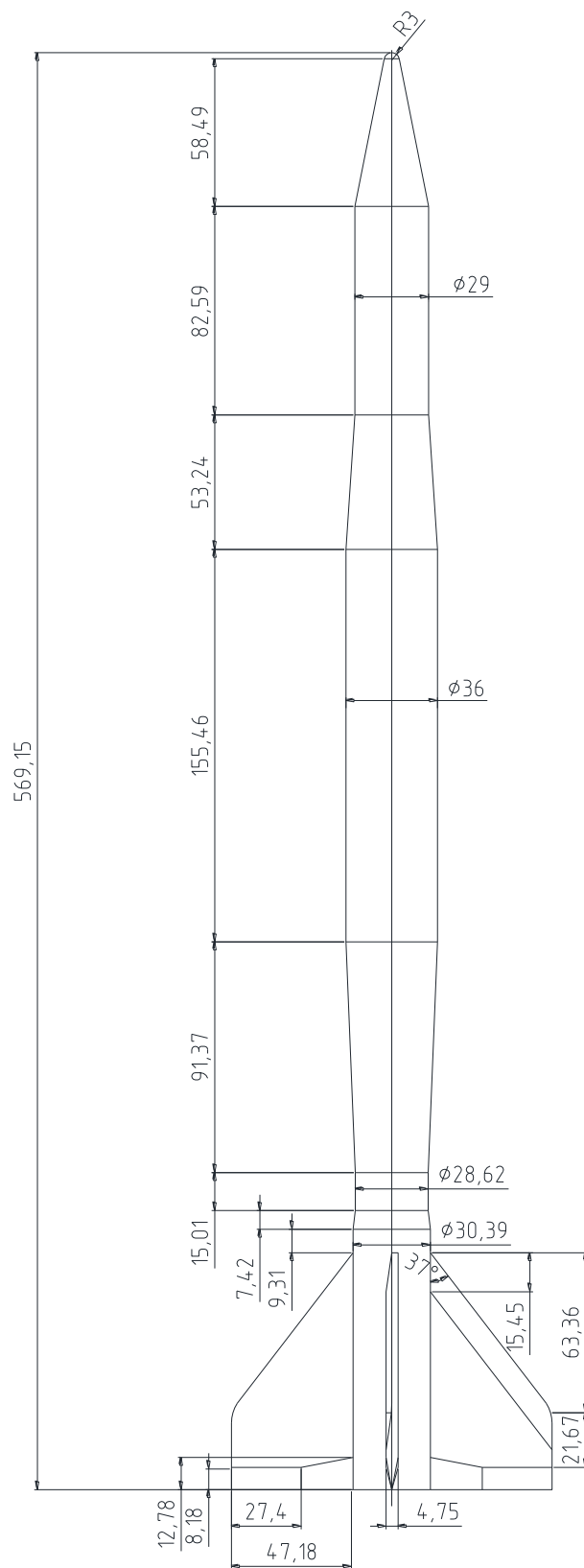


Рисунок 1.10 – Эскиз бронебойного подкалиберного снаряда 3БМ42

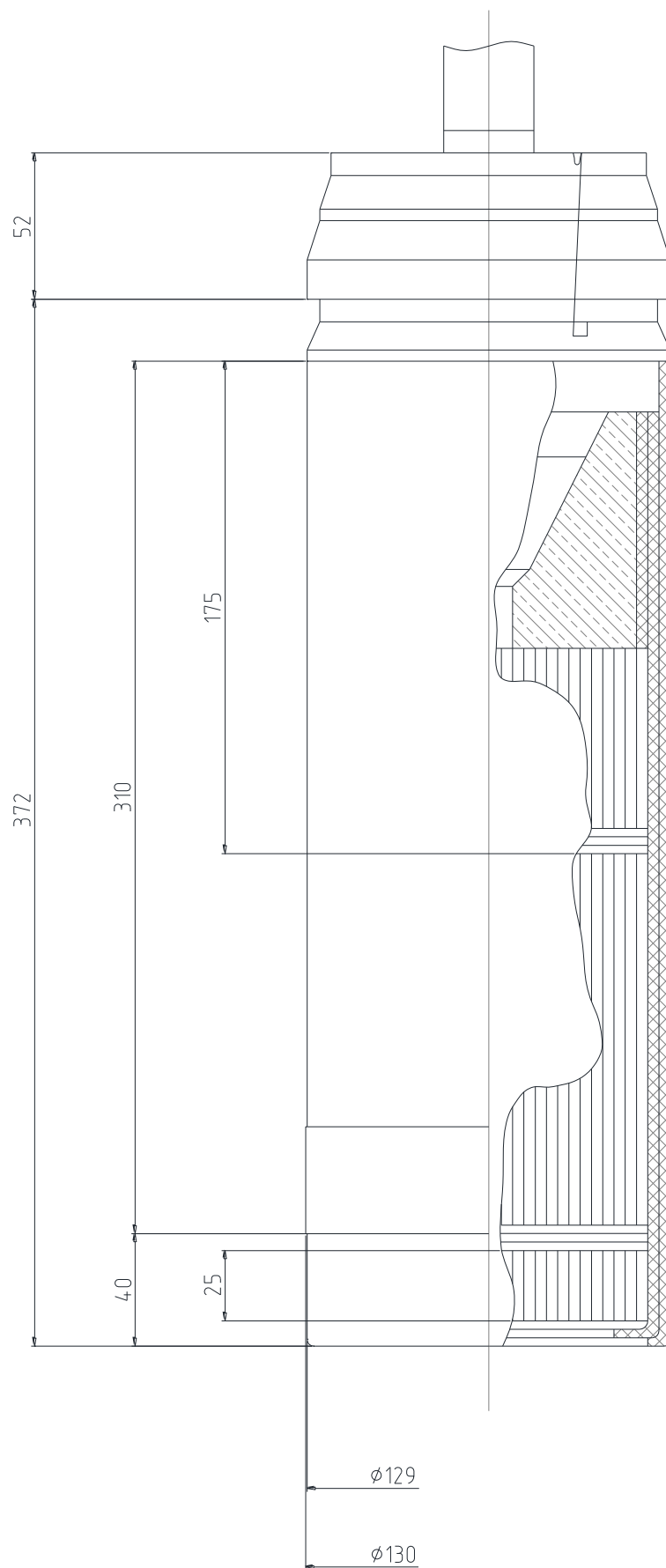


Рисунок 1.11 – Эскиз дополнительного заряда к заряду 4Ж63