

ОБОСНОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ МАКЕТА РУЧНОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МИНОМЕТА ПРИ СТАТИЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

А. С. Блинов, В. В. Доценко, М. В. Никульшин, О. С. Путилин, В. В. Титов, И. Н. Четкин

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ им. академ. Е. И. Забабахина», г. Снежинск Челябинской обл.

Введение

В настоящее время в РФЯЦ-ВНИИТФ проводится разработка ручного пневматического миномета (РПМ), в котором запуск мины происходит при помощи сжатого воздуха без использования взрывчатых веществ и порохов. Для проведения предварительной экспериментальной отработки разработан макет миномета. Для снижения стоимости предварительной отработки в макете проведена замена легких алюминиевых материалов на сталь.

Для запуска мины на требуемое расстояние в герметичном объеме миномета (баллоне) предварительно создается давление воздуха $P_{\text{раб}} = 100$ атм. (10 МПа) [1]. Давление воздействует на конструктивные элементы миномета – стенки баллона и удерживающее устройство. Согласно конструктивным особенностям, баллон одновременно является стволом миномета. Под действием давления возможна деформация баллона с последующим обжатием мины стволом, из-за чего вероятно заклинивание мины в стволе миномета.

Согласно предварительным данным, максимальная скорость мины при выстреле из РПМ составляет $V = 70$ м/с. При вылете мины из ствола происходит контактное взаимодействие механизма за-

пуска с торцевой частью корпуса. Предварительные расчеты соударения механизма запуска с корпусом показали значительное деформирование внутренней трубы. Поэтому в процессе проведения расчетов по согласованию с разработчиком в модель миномета были введены конструктивные изменения, направленные на упрочнение корпуса.

В докладе представлены результаты расчетов на прочность корпуса миномета при статической нагрузке и ударном взаимодействии. Анализ НДС миномета проводился в двух пакетах программ (ПП): ЛОГОС-Прочность и аналогичного коммерческого продукта (КП).

Конструкция миномета

Основными конструктивными элементами миномета являются баллон, система удержания и опора (рис. 1).

Длина миномета составляет 0,8 метра. Баллон миномета изготовлен из стали 45. Силовые элементы изготовлены из стали 30ХГСА и титанового сплава ВТ14.

Баллон миномета представляет собой две соосные трубы (внешнюю 1 и внутреннюю 2), рис. 1, с одного торца соединенные заглушкой 3, с другого

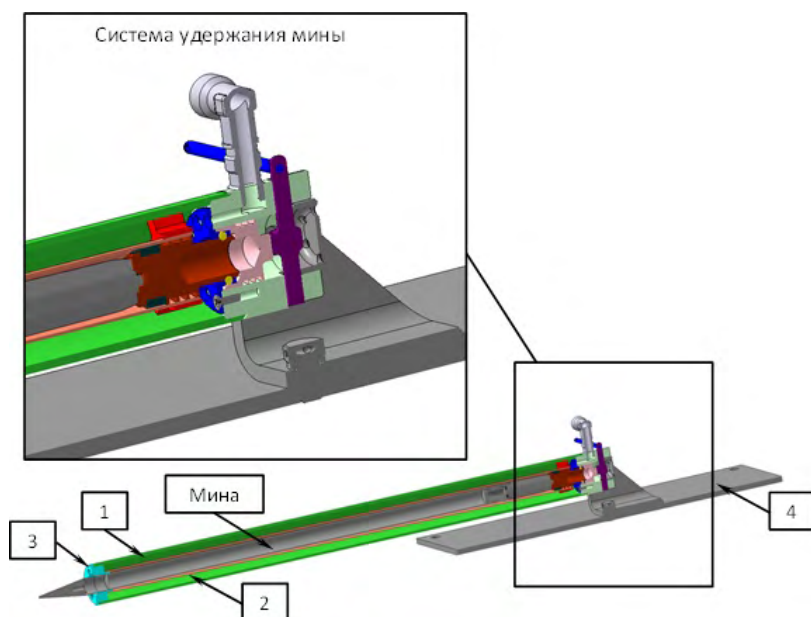


Рис. 1. Конструктивная схема миномета: 1 – внешняя труба, 2 – внутренняя труба, 3 – заглушка, 4 – основание

конца внешняя труба соединена с основанием 4, в котором установлена система удержания. Для усиления конструкции в области заглушки, на внутреннюю трубу устанавливается дополнительное стальное кольцо (рис. 2) длиной 50 мм и толщиной стенки 5 мм.

Расчетная модель

Расчеты прочности РПМ проведены методом конечных элементов. Расчеты выполнялись в двух ПП: ЛОГОС-прочность и аналогичном коммерческом продукте. Построение расчетной модели осуществлялось на основе геометрической модели миномета, созданной в формате сборки конструкторского пакета. Учитывая наличие плоскости симметрии, модель построена для половины конструкции. В модели учтены основные силовые элементы миномета: внешняя и внутренняя труба, заглушка и система удержания.

Конечно-элементная модель (КЭМ) РПМ содержит 350000 узлов и 280000 элементов (рис. 2, 3).

При задании физико-механических характеристик материалов использовались соответствующие государственные стандарты и данные справочников [2, 3].

При оценке прочности РПМ при действии рабочего давления $P_{\text{раб}} = 10$ МПа нагрузка прикладывалась внутренним поверхностям баллона (рис. 2).

Для расчета прочности РПМ при вылете мины задавалась начальная скорость ($V = 70$ м/с) соударения цапфы с заглушкой (рис. 3). Следует отметить, что заданная скорость является максимальной и не учитывает возможное торможение за счет воздушной подушки между цапфой и заглушкой.

Ограничение перемещения модели по всем направлениям ($UX = UY = UZ = 0$) задано по торцам поворотного кулачка.

Результаты статических расчетов

В данном разделе представлены результаты расчетов корпуса миномета на действие рабочего статического давления $P = 10$ МПа.

При действии давления упругое изменение радиуса внутренней трубы 2 (рис. 1) не превышает $\Delta = 0,05$ мм. Зазор между миной и стволом миномета не выбирается. Смещение внешней трубы 1 (рис. 1) в радиальном направлении не превышает значения $\Delta = 0,02$ мм.

На рис. 4 представлено распределение эквивалентных напряжений во внешней трубе. Как видно из рис. 4, максимальные эквивалентные напряжения достигают значения $\sigma_{\text{экр}} = 80$ МПа. Полученное значение ниже предела текучести материала трубы (сталь 45).

Напряжения, реализующиеся в остальных силовых элементах миномета, представлены в табл. 1.

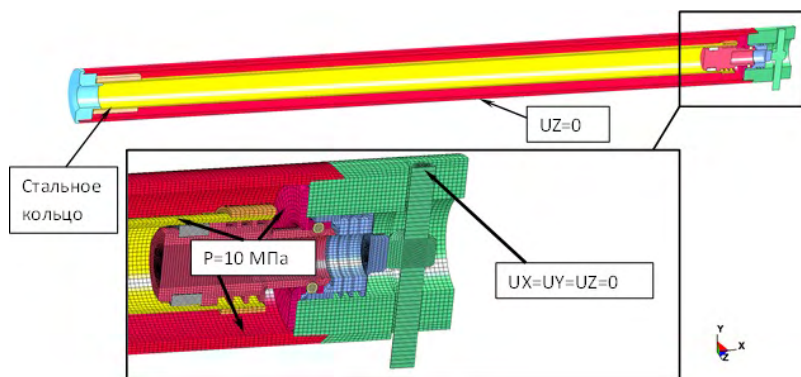


Рис. 2. Конечно-элементная модель и условия нагружения статическим давлением

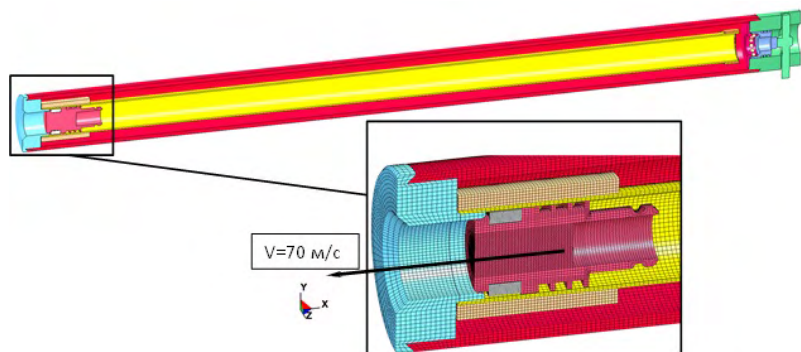


Рис. 3. Конечно-элементная модель для ударного взаимодействия

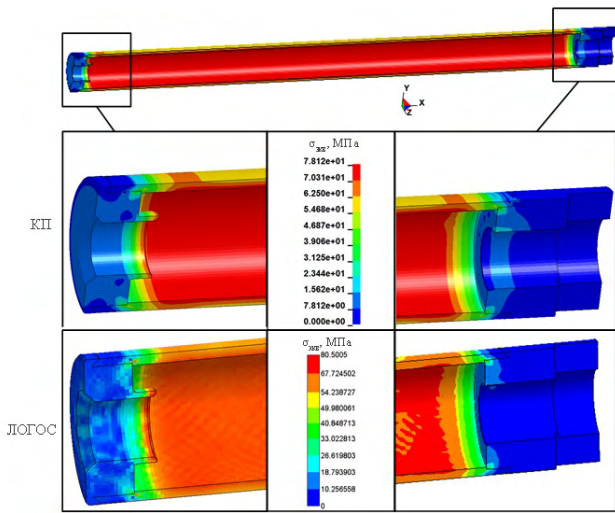


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений во внешней трубе корпуса миномета

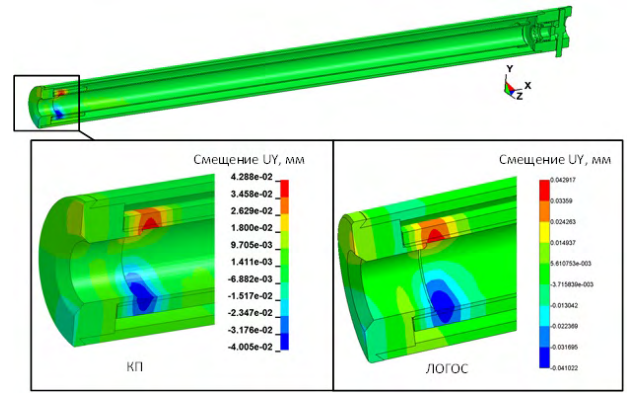


Рис. 5. Деформированное состояние корпуса миномета при выстреле

Таблица 1

Результаты расчета прочности миномета при статическом нагружении

Деталь	Материал	Логос	КП
		$\sigma_{\text{экв}}$, МПа	$\sigma_{\text{экв}}$, МПа
Внешняя труба	Сталь 45 $\sigma_{\text{T}} = 245$ МПа, $\sigma_{\text{в}} = 415$ МПа	80	78
Внутренняя труба		131	130
Заглушка	Сталь 30ХГСА $\sigma_{\text{T}} = 835$ МПа, $\sigma_{\text{в}} = 10080$ МПа	80	76

σ – эквивалентное напряжение; ϵ – пластические деформации

Как видно из табл. 1, результаты расчетов в обоих программах идентичны.

Результаты динамических расчетов

При выстреле наибольшее увеличение радиуса внутренней трубы наблюдается в зоне контакта заглушки с демпфером. В связи с отсутствием возможности получения в постпроцессоре ЛОГОС (ScientificView) распределения радиальных смещений, приводится смещение элементов конструкции в поперечном направлении UY. В данной области локальное изменение радиуса внутренней трубы в направлении UY не превышает $\Delta = 0,043$ мм (рис. 5). Как видно из рис. 5, результаты расчетов по обоим ПП идентичны.

В заглушке 3 (рис. 1) при выстреле максимальное эквивалентное напряжение $\sigma_{\text{экв}} \approx 870$ МПа реализуется в зоне взаимодействия с демпфером (рис. 6). Полученное значение превышает предел текучести материала заглушки (сталь 30ХГСА – $\sigma_{\text{T}} = 835$ МПа). На поверхности заглушки возникают локальные пластические деформации $\epsilon = 2,6\%$ не превышающие предельное значение $\delta = 10\%$ для стали 30ХГСА. В данной зоне возможно смятие материала заглушки, при этом целостность детали сохраняется.

Во внутренней трубе при выстреле максимальные эквивалентные напряжения достигают $\sigma_{\text{экв}} = 250$ МПа в зоне резьбового соединения с заглушкой (рис. 7). Расчетное значение напряжений превышает предел текучести материала трубы (сталь 20 – $\sigma_{\text{T}} = 245$ МПа). Уровень пластических деформаций в трубе $\epsilon < 1\%$ значительно ниже относительного удлинения после разрыва для стали 20 ($\delta = 25\%$). Целостность внутренней трубы сохраняется.

В табл. 2 представлены результаты расчета миномета. Как видно из табл. 2, после соударения все силовые элементы сохраняют свою целостность при однократном нагружении. Результаты расчетов в КП и ПП ЛОГОС-прочность идентичны.

Заключение

В работе представлен анализ прочности конструктивных элементов макета пневматического ручного миномета при действии максимального внутреннего давления $P_{\text{раб}} = 10$ МПа и в условиях выстрела мины.

Анализ прочности проводился в двух пакетах программ конечно-элементного анализа: коммерческий продукт и отечественная программа ЛОГОС-прочность.

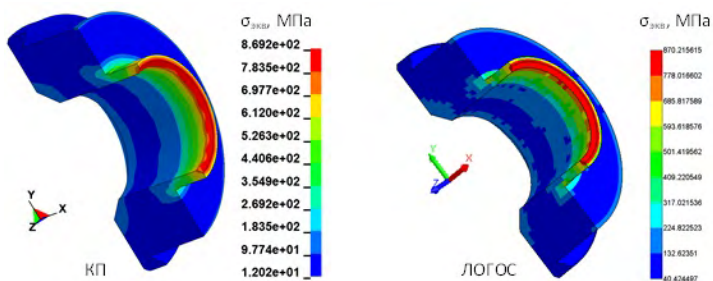


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений в заглушке

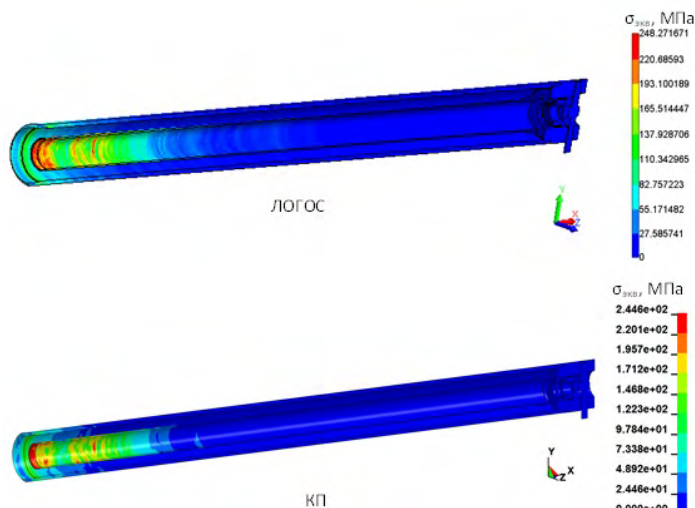


Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений в трубах корпуса миномета

Таблица 2

Результаты расчета прочности миномета при ударном взаимодействии

Деталь	Материал	Логос		КП	
		$\sigma_{\text{экв}}$, МПа	ϵ , %	$\sigma_{\text{экв}}$, МПа	ϵ , %
Внешняя труба	Сталь 45 $\sigma_T = 245$ МПа, $\sigma_B = 415$ МПа	198	–	201	–
Внутренняя труба		248	$\epsilon > 1$	246	$\epsilon > 1$
Заглушка	Сталь 30ХГСА $\sigma_T = 835$ МПа, $\sigma_B = 10080$ МПа	870	$\epsilon = 2,6$	869	$\epsilon = 2,6$
Цапфа	Сплав ВТ14 $\sigma_T = 1080$ МПа, $\sigma_B = 1160$ МПа	941	–	910	–

σ – эквивалентное напряжение; ϵ – пластические деформации

Результаты расчетов показали:

– при действии внутреннего давления прочность корпуса миномета обеспечивается;

– в условиях выстрела в отдельных деталях (заглушка, внутренняя труба) реализуются пластические деформации. При однократном выстреле с максимальной скоростью $V = 70$ м/с целостность конструкции макета миномета сохраняется;

– значения смещений, напряжений и деформаций конструктивных элементов миномета, полученные по двум программам идентичны.

Литература

1. Кузнецов Е. В., Четкин И. Н. Техническое задание на расчет прочности деталей модели ручного пневматического миномета: ТЗ/РФЯЦ-ВНИИТФ № 230-14/2943 от 13.03.2018 // Снежинск: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», 2018.

2. Никитин А. М., Фёдорова И. В. Физико-механические характеристики и билинейные диаграммы деформирования конструкционных материалов: Справочник. Инв. № ПС01.8193. Снежинск: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИТФ», 2001.

3. Арзамасов Б. Н., Брострем В. А. и др. Конструкционные материалы. Справочник. Под общ. ред. Арзамасова Б. Н. М.: Машиностроение, 1990. С. 688.