

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕРМОЗАЩИТНОГО КОЖУХА СТВОЛЬНОЙ ТРУБЫ ТАНКОВОЙ ПУШКИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СОЛНЕЧНОЙ РАДИАЦИИ

П.И. Богомоллов¹, М.А. Бируля², А.А. Болотин³

Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт материалов», 191014, Санкт-Петербург, ул. Парадная, 8, e-mail: info@cniim.com

Рассматриваются вопросы эффективности применения термозащитных кожухов для стволов танковых пушек. В частности, оценивается эффективность термозащитных кожухов из полимерных композиционно-волоконистых материалов при одностороннем воздействии на ствол солнечной радиации. Описывается расчетно-экспериментальная методика определения температурного поля и термоупругих деформаций ствольной трубы.

Ключевые слова: термозащитный кожух, композиционные материалы, танковая пушка, конвективно-лучистый теплообмен.

В танковых орудиях температурные градиенты по периметру ствольной трубы из-за несимметричного нагрева или охлаждения могут привести к возникновению температурных деформаций. Такие деформации являются причиной смещения дульного среза относительно теоретической оси канала ствола, что значительно снижает точность стрельбы. Причиной неравномерного распределения температур по трубе может являться одностороннее воздействие солнечной радиации, ветра, дождя или снега в совокупности с высокотемпературным нагревом внутренней поверхности трубы пороховыми газами при выстреле [1-6].

Для решения данной проблемы еще с середины 60-х годов, как в СССР, так и за рубежом, стали использовать специальные термозащитные кожуха (ТЗК) – оболочки, защищающие ствол танковой пушки от неблагоприятных температурных воздействий.

Следует отметить, что если на зарубежных танках в настоящее время используются ТЗК, выполненные из неметаллических композиционных материалов, то

отечественные конструкции ориентированы на использовании тонкостенных металлических кожухов, выполненных из алюминия. Это является усложняющим фактором по быстрострельности при их замене и утяжеляет конструкцию ствола в сборе.

В АО «ЦНИИМ» была отработана технология изготовления ТЗК из композиционного материала, а также разработана опытная конструкция (рисунок 1).

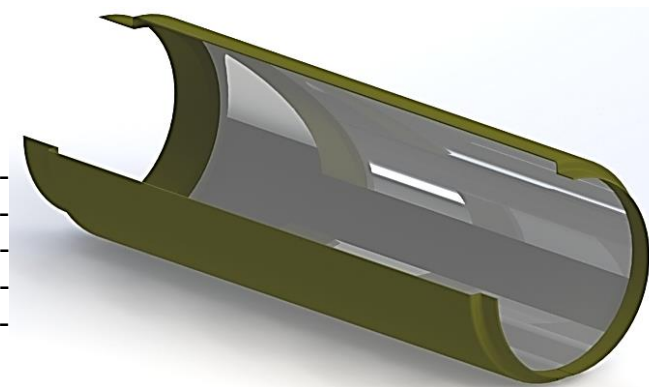


Рисунок 1 – Секция ТЗК из композиционного материала

¹Богомоллов Павел Иванович – заместитель начальника отдела 115, тел.: (812) 274-44-81, e-mail: pavel.lab 115@mail.ru;

²Бируля Максим Анатольевич – инженер 1-й категории отдела 115, e-mail: birulya.maksim92@mail.ru;

³Болотин Александр Александрович – начальник отдела 115, e-mail: aabolotin1964@mail.ru.

Опытная конструкция максимально приближена к конструкции штатного ТЗК, и имеет одинаковые элементы крепления на ствольную трубу. Композиционный ТЗК представляет собой оболочку вращения, толщиной около 1,5 мм, с торцевыми изгибами, повторяющими контур ствола. Оболочка выполнена из композиционно-волоконного материала (КВМ) с внутренней поверхностью из алюминиевой фольги.

Для оценки эффективности в данной работе рассматривалось воздействие солнечной радиации на ствольную трубу с кожухом. Для определения температурного поля в радиальном направлении была построена плоская модель ствольной трубы с кожухом. В данной модели наружная

поверхность термозащитного кожуха подвергается воздействию радиационного потока от солнца $q = 1100 \div 1150 \text{ Вт/м}^2$.

Для реализации тепловой модели и проведения расчетов была сконструирована и смонтирована экспериментальная установка для имитации воздействия солнечной радиации на ствольную трубу танковой пушки в лабораторных условиях (рисунок 2). Основным назначением данной установки является то, что она позволяет получить данные для идентификации расчетной модели, и таким образом, получить достоверные расчетные результаты. Схема установки приложена на рисунке 2.

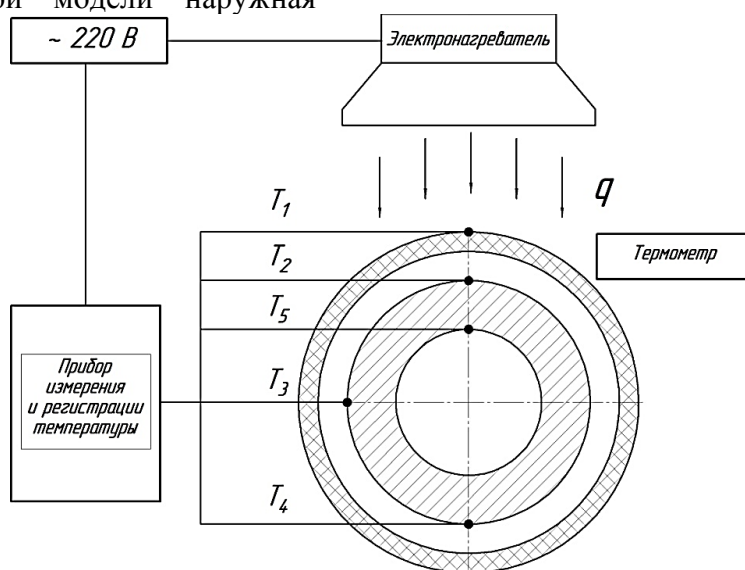


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки

Для проведения исследования эффективности ТЗК из КВМ при имитации воздействия солнечной радиации на ствольную трубу были изготовлены три экспериментальных кожуха: ТЗК из алюминиевого листа, из стеклопластика с фольгой и углепластика с фольгой. Все ТЗК были окрашены в защитную краску.

Замеры температуры производились в одном сечении в 5 точках. Регистрация температуры в течение всего времени нагрева производилась постоянно в точках 2 и 4 (верхняя и нижняя поверхность трубы). Также регистрировалась температура окружающей среды (T_B). Среднее время достижения стационарного режима нагрева составляло около 400÷450 минут. Результаты измерений для всех ТЗК обобщены в таблице 1. Определяющим параметром для

оценки эффективности ТЗК принималось значение разницы температур между верхней и нижней поверхностью трубы ΔT .

Таким образом, имея представления об уровне температур, как на поверхности кожуха, так и на поверхности трубы, можно построить математическую модель для установления оптимальных размеров воздушного зазора между ствольной трубой и кожухом, а также толщины самого термозащитного кожуха.

Расчет температурного поля данной конструкции производится методом конечных элементов в пакете Ansys. Так как процесс нагрева ствола танкового орудия от солнечной радиации происходит длительное время, задача рассматривается в стационарной постановке. Для данного расчетного случая граничные условия представлены на

рисунке 3.

Таблица 1 – Обобщенные результаты измерений

Образец ТЗК	Толщина кожуха, мм	Величина зазора, мм	$T_B, ^\circ\text{C}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$
Алюминиевый	0,5	5	35	2,8
Стеклопластик с фольгой	1,5	10	35	1,9
Углепластик с фольгой	1,5	10	35	1,36
Углепластик без фольги	1,5	10	35	4,7

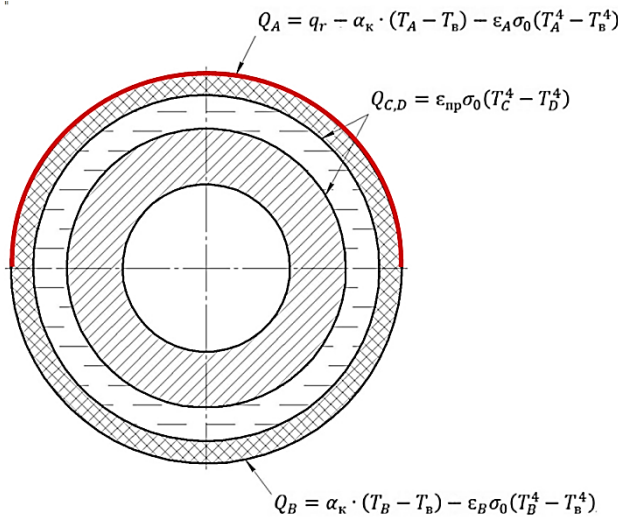


Рисунок 3 – Тепловая модель с граничными условиями

Основные трудности анализа конвективного теплообмена связаны с установлением вида зависимости коэффициента теплоотдачи от определяющих его параметров. В большинстве случаев вид этих зависимостей устанавливается при обобщении экспериментальных данных [7].

При расчете теплопередачи цилиндрической поверхности в условиях естественной конвекции в неограниченном пространстве используется неравенство (1):

$$(t - t_c) \leq \left(\frac{840}{L}\right)^3 [^\circ\text{C}]. \quad (1)$$

Если определяющий размер (L , мм) цилиндрической поверхности и ее температурный напор $t - t_c$ удовлетворяют

неравенству (1), то конвективный коэффициент теплоотдачи (для горизонтально ориентированной поверхности, обращенной нагретой стороной вверх) будем рассчитывать по формуле:

$$\alpha_k = 1,35 \left(\frac{t - t_c}{D}\right)^{1/4} \left[\frac{Bm}{\text{M}^2 \cdot ^\circ\text{C}}\right]. \quad (2)$$

Расчет теплопроводности композиционных материалов для ТЗК проводился по методике описанной в [8].

В результате теплового расчета в программном комплексе Ansys было получено температурное поле трубы с различными ТЗК. Расчетные значения градиента температур представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Обобщенные результаты расчета

Образец ТЗК	Толщина кожуха, мм	Величина зазора, мм	$T_B, ^\circ\text{C}$	$\Delta T, ^\circ\text{C}$
Алюминиевый	0,5	5	35	0,9
Стеклопластик с фольгой	1,5	10	35	0,76
Углепластик с фольгой	1,5	10	35	0,66

В соответствии с полученными расчетными данными, можно сделать вывод, что лучшим вариантом является ТЗК из углепластика с фольгой. С таким кожухом наблюдается наименьший градиент температур и общий уровень температуры.

По данным расчета наблюдается уменьшение градиента температур с увеличением толщины кожуха S и увеличением воздушного зазора H . Поскольку имеются ограничения к конструкции кожуха (радиус обметания пушки, масса кожуха) оптимальная толщина принята 1,5 мм.

На рисунке 4 представлена зависимость градиента температур от величины воздушного зазора между ствольной трубой и кожухом.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что оптимальная величина зазора составляет 10 мм. Также величина градиента зависит от коэффициента теплопроводности применяемого для ТЗК материала (с увеличением

теплопроводности, градиент уменьшается).

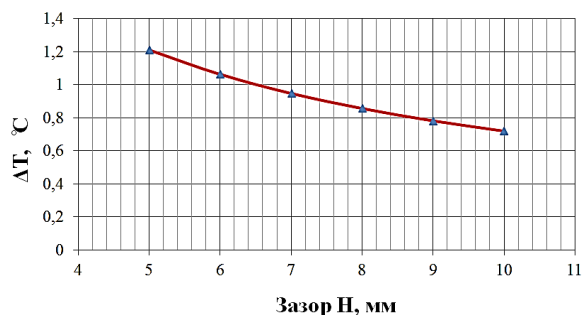


Рисунок 4 – Зависимость градиента температур от величины зазора

Также для оценки значения деформаций, возникающих от температурного воздействия солнечной радиации, был произведен расчет НДС, сопряженный с тепловым расчетом. В результате расчета получены величины максимальных перемещений, возникающих в результате одностороннего воздействия солнечной радиации для ствола без кожуха и с кожухом из КВМ.

Результаты расчета показали, что использование ТЗК позволяет уменьшить перемещения дульного среза трубы при воздействии солнечной радиации практически в 2,5 раза.

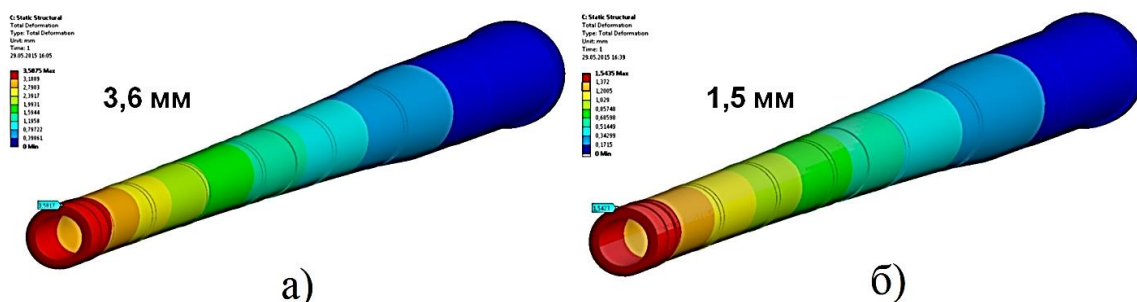


Рисунок 5 – Перемещения трубы под действием температурных напряжений: а)- без ТЗК; б) - с ТЗК

По итогу проведенной расчетно-экспериментальной оценки были определены оптимальные конструктивные параметры ТЗК при воздействии односторонних тепловых потоков на ствольную трубу. Это позволило разработать конструкцию опытного ТЗК для дальнейшей оценки его эффективности и возможности применения для танковых пушек.

Комплексная оценка эффективности проводилась по результатам стационарных стендовых испытаний трубы 2А46-М. Во время испытаний имитировалось воздействие солнечной радиации, боковой составляющей скорости ветра и осадков. Испытания показали, что разработанный опытный ТЗК обеспечивает повышение защитных свойств по сравнению со штатным ТЗК на 17%, сокращает время монтажа (демонтажа) в 5-6 раз и имеет массу не более 8 кг. Также были проведены успешные стрельбовые испытания.

Список литературы

1. Mark L. Bundy et al, Thermal shroud for a gun tube. Patent US, no. 4841836, 1989.
2. Peter F. Taylor et al, Thermal jacket for elongated structures. Patent US, no. 4346643, 1982.
3. Alistair R. Milne et al, Thermal sleeve for gun barrels. Patent US, no. 4638713, 1987.
4. Izumi Higashi, Gun barrel for tank. Patent US, no. 4753154, 1988
5. Gert Schlenkert et al, Thermal insulation jacket for a gun barrel. Patent US, no. 8347773 B2, 2013
6. Tae-Ho Han, Analysis of the effectiveness of thermal shroud on the thermal deformation of a gun barrel, NDIA 41st Annual Armament Systems: gun and missile systems Conference & Exhibition, march 27-30, 2006
7. Г.Н Дульнев Тепло- и массообмен в радиоэлектронной аппаратуре.- М.: Высш. шк., 1984
8. А.Ф. Крегерс, И.А. Репелис, А.М. Толкс. Теплопроводность волокнистого композита и его составляющих, ж. Механика композитных материалов №4, 1987, с. 604...608

