

КОНСТРУКЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗУЕМОСТЬ ШАХТ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ¹

Джон Миченер

В этой заметке рассматриваются особенности разработки и возможности технической реализуемости ракетных шахт повышенной прочности, под которыми понимаются шахты, способные уцелеть после ядерного взрыва на расстояниях от эпицентра, превышающих радиус внешнего вала образующегося после наземного взрыва кратера. В этом случае основным механизмом вывода шахты из строя будет не разрушение под действием ударной волны, а процессы в самом кратере - перемещение грунта внешнего вала и засыпка шахты обломками. Согласно проведенному в Министерстве обороны США анализу, такие шахты должны выдерживать избыточное давление около 7 500 атмосфер.²

Автор статьи работает главным инженером фирмы Cryptologics International Inc. в г. Принстон, шт. Нью-Джерси.

С точки зрения механики шахта повышенной прочности - это цилиндр с двойными стенками с полусферами на концах. Внутренняя оболочка шахты, скорее всего, будет толще, а внешняя - тоньше. Пространство между стенками шахты может быть заполнено стальными креплениями, высокопрочным бетоном и арматурой.³ Шахта может располагаться в прочном скальном грунте, скорее всего, посреди системы скважин, которые будут способствовать разрушению грунта и поглощению энергии ударной волны.

Были проведены расчеты статических напряжений в возможной конструкции шахты повышенной прочности для МБР с одиночной боеголовкой; эти результаты могут быть применены для анализа шахты для тяжелой МБР соответствующим масштабным преобразованием. Внутренний радиус шахты для малой МБР равен одному метру, а внешний радиус - двум метрам. Толщина внутренней стенки равна 20 сантиметрам, а толщина внешней - 10 сантиметрам. Пространство между стенками шахты заполнено железобетоном высокой прочности со средним модулем упругости, равным 1/3 от модуля упругости стали. Если к конструкции прилагается внешнее гидростатическое давление S , то радиальное напряжение сжатия во внутренней цилиндрической стенке будет равно $4,5S$, в железобетонном наполнителе - $1,4S$ и во внешней цилиндрической оболочке - $3,1S$. Аксиальные напряжения примерно вдвое меньше радиальных.

Предел прочности термообработанной пластины из высокопрочной стали может

превышать $10\ 000\ \text{кг/см}^2$ при разумном уровне деформаций. Стали высокой прочности с очень малым содержанием углерода обладают несколько меньшим пределом прочности, но они разрываются при несколько больших деформациях. Частично аустенитные стали и стали типа TRIP обладают особо высоким пределом прочности и могут сильно деформироваться, но их стоимость весьма высока, а обработка очень трудоемка. Прочность самого крепкого бетона по отношению к деформациям сжатия (без учета влияния арматуры) может превышать $1\ 000\ \text{кг/см}^2$. Сравнение этих характеристик с результатами расчета распределения напряжений в конструкции шахты показывает, что такие шахты способны выдержать статическое сжатие внешним давлением около 2 000 атмосфер.⁴

Однако, ударная волна ядерного взрыва не является статической. Давление в ней поднимается практически мгновенно, и спадает с характерным временем от 1 до 3 миллисекунд. Поведение конструкционных материалов при кратковременных динамических нагрузках, в два-три раза превышающих статический предел прочности, не очень полно описано в открытой литературе, но известно, что эти материалы могут выдерживать нагрузки, в несколько раз большие приложенных аналогичным образом статических нагрузок. Такие нагрузки значительно больше статических пределов прочности, но материал конструкции работает в этом случае в режиме высокоскоростных деформаций.

В таком режиме стенки шахт деформи-

руются, бетон трескается и отслаивается от арматуры, и материал шахты разрушается на микроскопическом уровне, но действие нагрузок столь кратковременно, что разрушения не успевают распространяться на большие расстояния. Ракета защищается от ударного действия остаточной ударной волны, уже ослабленной скальным грунтом и бетоном, обычными методами (амортизаторами, пенопластом, контейнером). Согласно комментариям официальных представителей Военного ядерного агентства США, и результатам испытаний уменьшенных моделей при обычных взрывах, совместное действие динамического повышения прочности и пластических деформаций может позволить такой шахте выдержать воздействие максимального избыточного давления ударной волны, в три-четыре раза превышающее статический предел прочности, и составляющего 6 - 8 тысяч атмосфер^{3,5-13} (однако, многие исследователи выражают сомнение в возможности создания реальных конструкций таких шахт; см., например¹⁴).

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Подробное обсуждение особенностей конструкции шахт повышенной прочности можно найти в сборнике Barbara G. Levi, Mark Sakitt, Art Hobson, eds., "The Future of Land-Based Strategic Missiles, New York, American Institute of Physics, 1989, pp. 239 - 256. Эта статья представляет собой краткую сводку подробного обсуждения.
2. Арт Хобсон, "Расчет живучести ракет шахтного базирования", Наука и всеобщая безопасность, том 2, выпуск 2, стр. 53 (этот выпуск).
3. Такая конструкция обсуждалась в интервью с представителями ВВС США, приведенных в статье Эдгара Ульсамера "The Prospect for Superhard Silos", Air Force Magazine, January 1984, pp. 74 - 77.
4. Конструкция шахт, способных выдержать статическое давление до 1 000 атмосфер, значительно проще. Их основные компоненты можно изготавливать серийно по сравнительно малой стоимости.
5. Заявление помощника министра ВВС США Томаса Э. Купера, цитированное в статье "SS-18 Not Capable of 250-foot CEP", Defense Daily, 22 May 1985, p. 121.
6. "Midgetman Tests on Basing Alternatives", Janes's Defense Weekly, 24 March 1984, p. 427.
7. "ICBM Modernization Program, Annual Progress Report", Department of Defense, Washington, DC, 15 January 1985, pp. 9 - 10.
8. Gerald E. Marsch, "Is Smaller Better?", Bulletin of the Atomic Scientists, February 1984, p. 10.
9. US Air Force, "FY 1985 Budget Estimates", p. 13.
10. US Air Force, "MX - Closely Spaced Basing", 20 July 1982, p. 14.
11. David C. Morrison, "ICBM Vulnerability", Bulletin of the Atomic Scientists, February 1984, pp. 26 - 28.
12. Donald A. Hicks, "ICBM Modernization", International Security, Fall 1987, p. 180.
13. John C. Toomay, "Strategic Forces Rationale", International Security, Fall 1987, p. 197.
14. William M. Arkin, "Going with Small ICBMs", Bulletin of the Atomic Scientists, May 1984, p. 8.