УДК 623.482.2

Коростелев О.П., Корбач В.Г., Яковенко П.А.
Государственное предприятие "Государственное Киевское конструкторское бюро "Луч". Украина, Киев

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАЧАЛЬНОЙ ФАЗЫ СТАРТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТВОЛЬНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАКЕТ

Анотація

Розглянуто методологію використання методу скінченних елементів для моделювання процессу старту ствольних керованих ракет. У рамках побудованої комп'ютерної моделі вдалося спостерігати й аналізувати в динаміці багато кількісних показників досліджуваного процесу, у тому числі напружено-деформований стан елементів конструкції, швидкості, прискорення та реакції взаємодіючих частин.

Abstract

The methodology of use of a method of finite elements for modeling process of start of controlled rockets is considered. With in the framework of the constructed computer model it was possible to observe and to analyze in dynamics many quantitative parameters of researched process, including is intense - is deformed a status of elements of a design, speed, acceleration and reaction of cooperating parts.

© Коростелев О.П., © Корбач В.Г., © Яковенко П.А.

Известно, что начальные условия старта ствольных управляемых ракет (СУР) оказывают значительное влияние на выбор проектных параметров СУР. Поэтому для определения нагрузок и принятия обоснованных решений по выбору параметров элементов конструкции, в частности материала и формы обтюрирующего кольца, установление потребной начальной скорости входа в нарезную часть ствола, необходимо знать напряженно-деформированное состояния СУР и кинематические параметры всех форм движений СУР в канале ствола.

Рассматриваемая ниже задача имеет ряд особенностей, которые создают специфические трудности при исследовании процесса старта — многокомпонентность системы "ствол-ракета", кратковременность происходящих процессов, нелинейные контактные взаимодействия (скольжение, ударное взаимодействие) и т.д. Процесс старта СУР может также содержать фазу кратковременной фиксации ее в начале нарезной части ствола.

Решение задачи моделирования начальной фазы старта предлагается проводить на основе решения динамической задачи механики деформируемого твердого тела. В результате решения такой задачи определяется реакция системы "ствол-ракета" на возмущения в виде давления пороховых газов. При этом определяются такие параметры как перемещения, скорости, ускорения элементов этой системы, напряжения и деформации в них.

Моделирование проводится численно, с использованием метода конечных элементов [1]. Конечно-элементные методы успешно применяются во многих инженерных дисциплинах и позволяют провести оптимизацию проектируемых изделий расчетными методами, используя эксперимент на заключительном этапе.

Можно выделить следующие основные этапы решения поставленной задачи:

- выбор физической модели процесса, обоснование принятых допущений;
- создание геометрической модели и ее передачу в препроцессор для создания сетки конечных элементов, задания начальных и граничных условий;
- выполнение расчета и проведения анализа полученных результатов.

Ниже приводятся некоторые результаты компьютерного моделирования начальной фазы старта СУР из нарезного ствола орудия.

На рис. 1 изображена часть трехмерной модели ствола с элементами конструкции СУР. При построении модели полностью соблюдались геометрические размеры и весовые параметры обтюрирующего кольца и подшипника, компенсирующего вращение СУР в стволе.

Ствол орудия считался абсолютно твердым телом и моделировался оболочечными конечными элементами (рассматривалась только внутренняя поверхность ствола), остальные части системы "ствол-ракета" — как трехмерные упруго-пластические тела (3D-модели). Общее число узлов — около 140000, число конечных элементов — примерно 122000.

Материал корпуса СУР, подшипника и кольца описывался билинейной моделью упруго-пластической среды. При моделировании учитывались силы трения и контактное взаимодействие элементов системы "ствол-ракета".

В зависимости от целей расчета также могут учитываться погрешности изготовления деталей ствола и СУР, упругие и пластические деформации ствола, износ канала ствола, его искривление и другие факторы.

На рис. 2 приведены графики изменения продольной скорости движения корпуса СУР и

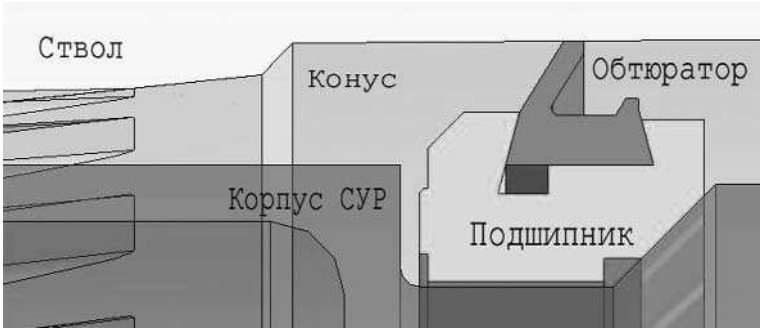

Рис. 1. Фрагмент геометрической трехмерной модели системы "ствол-ракета"

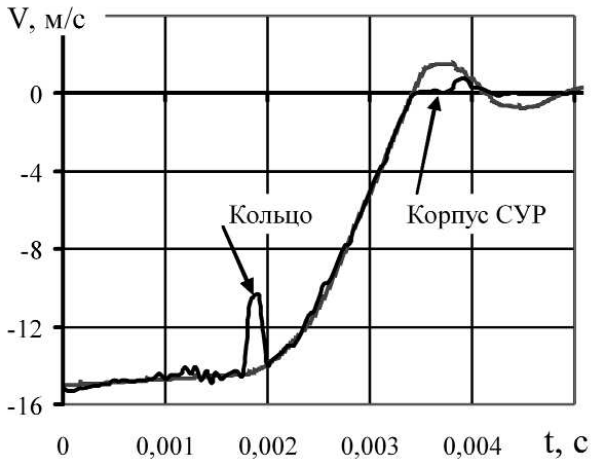

Рис. 2. Скорости движения корпуса СУР и обтюрирующего кольца

обтюрирующего кольца в канале ствола при начальной скорости входа СУР в переходной конус Vo = 15 м/с.

Из рис. 2 следует, что кольцо фиксируется, а корпус СУР совершает затухающие колебания относительно фиксированного положения обтюрирующего кольца. На графике есть область, где скорости движения кольца и корпуса СУР существенно различаются. Этот факт можно объяснить тем, что в этом интервале времени происходит резкое изменение формы кольца, при этом корпус СУР и прилегающая к нему часть кольца продолжают движение, а периферийная область кольца за счет сильного деформирования испытывает торможение.

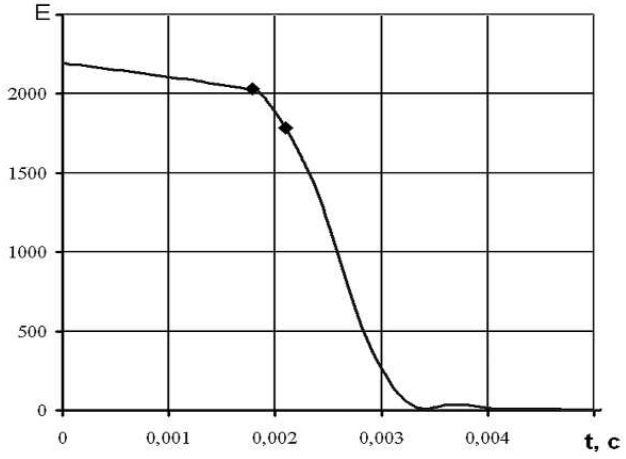

Рис. 3. Изменение кинетической энергии СУР в процессе входа в нарезную часть ствола

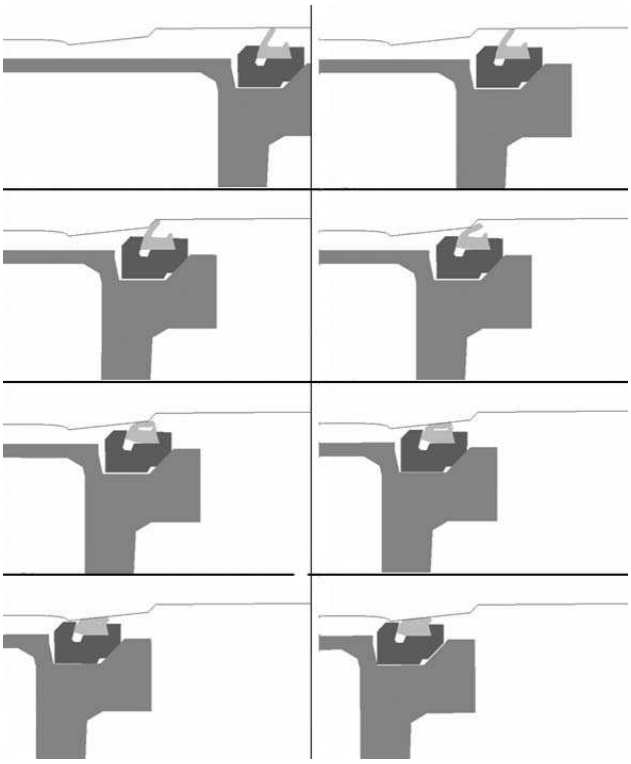

Рис. 4. Формоизменения поперечного сечения пояска в процессе фиксации

На рис. 3 приведен график изменения кинетической энергии корпуса СУР в процессе обжатия кольца. Символом ♦ обозначены моменты времени касания кольцом заходного конуса гладкой части ствола и прохождения этого конуса.

Из графика рис. 3 видно, что основная потеря кинетической энергии происходит за счет деформирования обтюратора в заходном конусе нарезной части ствола.

Изменение формы поперечного сечения кольца в процессе обтюрации приведено на рис. 4.

Деформированные формы кольца после частичной и полной обтюрации приведены на рис. 5, а на рис. 6 изображен фрагмент СУР, содержащий обтюрирующее кольцо после проведения натурного эксперимента.

Проведенные расчеты показали, что величина кинетической энергии, потребная для обтюрации

а *б*

Рис. 5. Форма обтюрирующего кольца в момент фиксации его в переходном конусе нарезной части ствола (*а*) и после полной обтюрации (*б*)

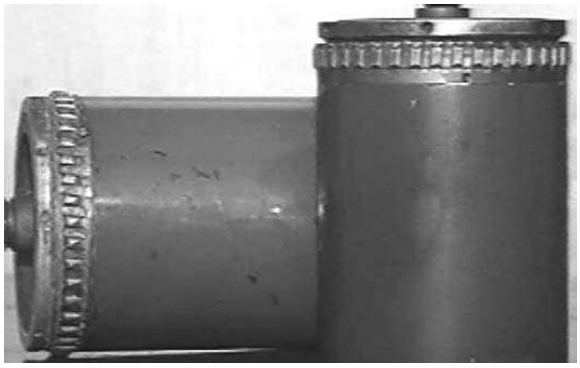

Рис. 6. Обтюрирующие кольца СУР после полной обтюрации (эксперимент)

кольца, зависит только от геометрии системы "ствол-ракета", в частности, от геометрии обтюрирующего кольца, формы переходных конусов, а также от физических параметров материала кольца. Перегрузки, возникающие при вхождении СУР в нарезную часть ствола орудия, также существенным образом зависят от свойств материала, в частности от напряжения текучести обтюрирующего кольца.

Таким образом, моделирование старта СУР на основе решения динамической задачи механики деформируемого твердого тела позволяет определить все параметры напряженно-деформированного состояния системы "ствол-ракета", кинематические параметры СУР, усилия взаимодействия СУР со стволом и т.д.

Изложенный выше подход к моделированию процесса старта СУР позволяет провести выбор рациональной формы обтюрирующего пояска и других элементов конструкции при проектировании СУР, а также анализ результатов экспериментальных исследований.

По данной методике аналогично может быть проведено моделирование всего процесса выстрела СУР.

При исследовании старта СУР из гладкого ствола орудия трудоемкость задачи может быть существенно уменьшена за счет использования осесимметричной конечно-элементной модели системы "ствол-ракета".

Литература

1. *Зенкевич О.* Метод конечных элементов в технике. — М: Мир, 1975. — 541 с.