

## Подводный старт баллистических ракет

### **Название проекта/исследования**

Исследование гидрогазодинамических характеристик и действующих нагрузок на баллистические ракеты подводных лодок при старте с применением программного комплекса FlowVision

### **Авторы, место работы, e-mail**

А.А. Аксенов<sup>1</sup>, [andrey@tesis.com.ru](mailto:andrey@tesis.com.ru)

Т.В. Маркова<sup>1</sup>, [markova@flowvision.ru](mailto:markova@flowvision.ru)

В.В. Жаркова<sup>1</sup>, [lera@flowvision.ru](mailto:lera@flowvision.ru)

<sup>1</sup> – ООО «ТЕСИС»

### **Аннотация к описанию проекта**

В данном проекте рассматривается моделирование запуска баллистической ракеты с помощью программного комплекса FlowVision с целью определения характера движения, гидрогазодинамических характеристик и действующих нагрузок на баллистическую ракету.

### **Описание проекта/исследования**

Требования, предъявляемые к прочности баллистических ракет (БР) подводных лодок и системе их управления, определяются силовыми нагрузками на шахтном и подводном участках траектории. К сожалению, на данный момент, наиболее достоверными данными исследования гидрогазодинамики подводного старта являются экспериментальные. При создании новой конструкции ракеты, ее экспериментальная отработка требует очень больших материальных и временных затрат. Поэтому использование эффективных численных методов расчета гидродинамических характеристик и действующих на БР нагрузок очень важно при проектировании.

Данная задача моделирования подводного старта БР вполне успешно решается с применением Российского программного комплекса FlowVision.

Целью данной работы является выбрать оптимальную методику решения задач подобного класса с целью определения:

- гидродинамических характеристик и нагрузок на БР на различных участках траектории: движение в шахте, прохождение через верхний срез шахты, движение в жидкости и выходе из нее.
- геометрии газовой полости при старте ее формирование и развитие – задача вытеснения жидкости из шахты при наличии головной и кормовой каверн.

Постановка задачи/методика расчета.

На первоначальном этапе данной работы рассмотрен вариант запуска БР из затопленной водой шахты. Между ракетой и шахтой имеется кольцевой зазор. Движение ракеты свободное вертикальное, пренебрегается влияние поперечного потока жидкости на траекторию (не учитывается движение подводной лодки и течение/волнение воды). Старт ракеты осуществляется с применением ПАД – движение ракеты в шахте происходит только за счет сил давления.

В качестве граничных условий данной задачи задавалось давление рабочего газа (продуктов сгорания) на дне шахты как функция времени. В начальный момент времени весь объем расчетной области заполнен жидкостью (водой) в том числе и объем шахты. На выходных боковых стенках расчетной области определено граничное условие "Свободный выход", соответствующее невозмущенному гидростатическому давлению. На стенках шахты и поверхности подводной лодки – граничное условие «Стенка» - условие непротекания с турбулентным пограничным слоем, характеризующимся логарифмическим законом изменения касательной компоненты скорости. Для экономии вычислительных ресурсов бралась только половина расчетной области, на боковой поверхности которой задавалось граничное условие «Симметрия» - условие непротекания и проскальзывания для скорости. Геометрия баллистической ракеты вставлялась в расчетную область как Модификатор «Подвижное тело». Для «Подвижного тела» задавались массово инерционные характеристики и движение только в вертикальном направлении под действием гидродинамических сил.

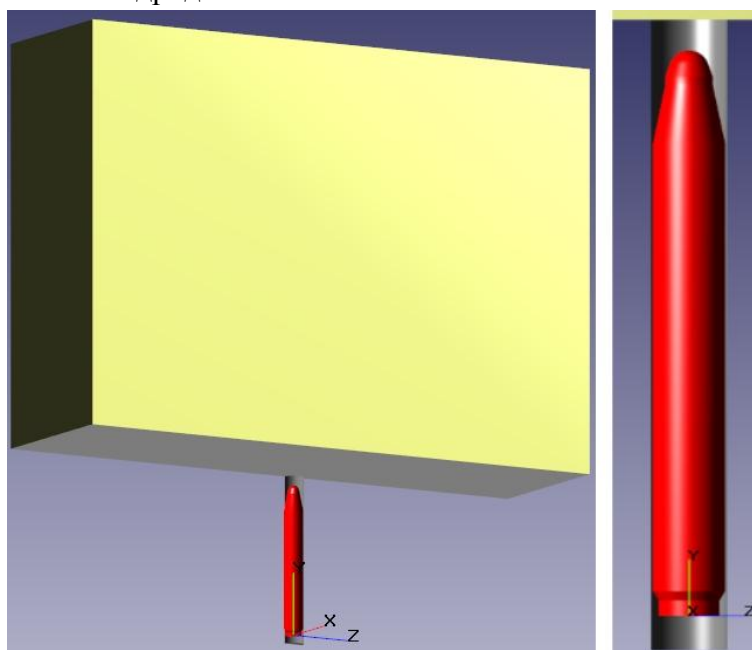


Рис.1. Геометрия модели запуска БР.

В результате моделирования использовалась неравномерная расчетная сетка, с локальным сгущением внутри шахты, срезе шахты и в области предполагаемого движения БР. При выходе из шахты задавалась дополнительная адаптация в объеме стандартного объекта FlowVision – цилиндре, где формируется газовый пузырь. Адаптация по поверхности ракеты позволяет измельчить сетку вокруг несколькими ячейками. Расчетная сетка типовой задачи вблизи БР представлена на рис.2.

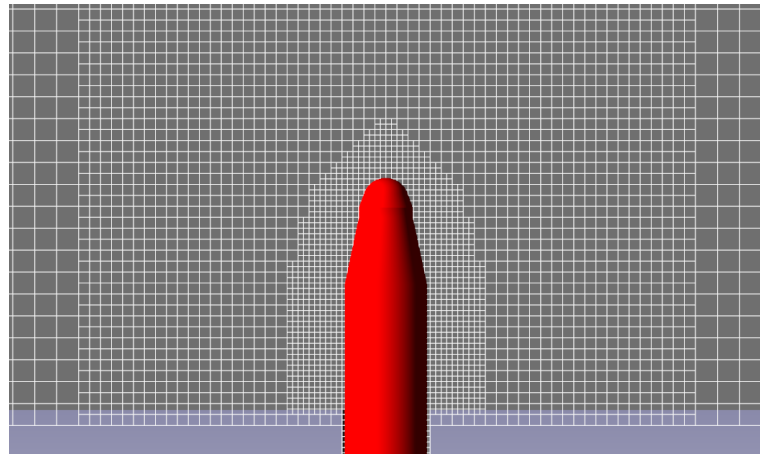


Рис.2. Расчетная сетка на выходе БР из шахты.

Общее количество расчетных ячеек для 3-х мерного моделирования задач движения БР на старте достигает 1 млн..

Задачи такой размерности, а также необходимость решения большого числа подобных нестационарных задач с различной геометрией и постановкой, целесообразно решать только на суперкомпьютерах.

Решение данных задач проводилось с использованием суперкомпьютерного комплекса МГУ (суперкомпьютеры «Ломоносов» и «Чебышев» ), что позволило: определить необходимые размеры расчетной сетки; выбрать оптимальную методику решения подобных задач; исследовать влияния различных параметров на гидрогазодинамические характеристики и действующие нагрузки на БР; промоделировать вытеснение жидкости из шахты – оценить геометрию газовой полости при движении БР.

На рис.3 и 4 представлены некоторые результаты моделирования старта БР, движения в шахте и начало выхода ее из шахты.

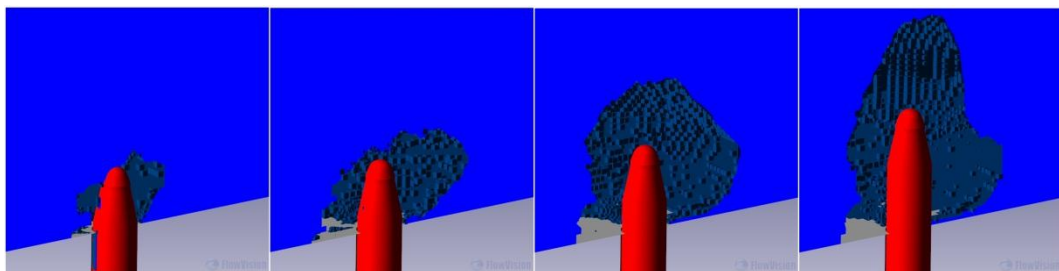


Рис.3. Формирование геометрии газовой полости в различные моменты времени выхода ракеты из шахты.

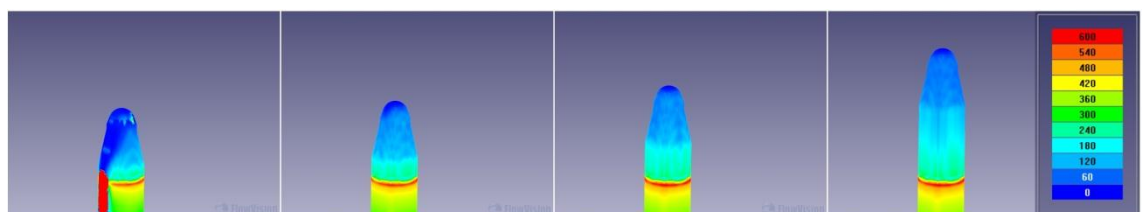


Рис.4. Модуль вязких напряжений на поверхности ракеты в различные моменты времени выхода из шахты.

В настоящее время исследование по определению гидродинамических характеристик и нагрузок на БР на различных участках траектории: движение в шахте, прохождение через верхний срез шахты, движение в жидкости и выходе из нее продолжается. Необходимо провести моделирование с учетом движения подводной лодки и течения/волнения воды, исследовать изменение траектории под действием боковых сил и изгибающих моментов. Провести исследование движения БР и поведение жидкости при пересечении ракеты поверхности воды.