

СПОСОБЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОВЕДЕНИЯ ЖИДКОСТИ В БАКАХ КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПОМОЩЬЮ FLOWVISION

*В.А.Гордеев, С.Ф.Тимушев, В.П.Фирсов, А.В.Ципенко, А.А.Яковлев
Московский авиационный институт, Москва, Россия*

Решение задачи о количестве и распределении горючего и окислителя в баках ступеней ракет-носителей и космических кораблей во время полета чрезвычайно важно для определения минимально допустимых остатков топлива, центра массы отделяемых ступеней, для выработки конструктивных решений, гарантирующих многократный запуск реактивных двигателей.

Рассмотрим возможности, предоставляемые однопроцессорной и многопроцессорной версиями [FlowVision](#) /1/ для решения этой задачи, и технологию численного эксперимента.

Постановка задачи следующая: жидкость с известными свойствами находится под постоянным давлением наддува в емкости, которая движется с переменным по величине и постоянным по направлению ускорением. Возможно снижение ускорения до нуля. При моделировании были сделаны следующие упрощающие предположения: стенка бака адиабатическая, влиянием газовой подушки на динамику жидкости пренебрегаем.

В такой постановке можно использовать модель жидкости со свободной поверхностью. Предварительные расчеты на модельном объекте (рис.1) показали, что на начальном этапе полета, когда вся жидкость сосредоточена в одной части бака и представляет односвязную область, достаточно возможностей, предоставляемых FlowVision 2.5, то есть можно не учитывать поверхностное натяжение и смачиваемость твердых поверхностей. В этом случае важную роль играют начальные условия. Не удалось получить физически оправданного поведения жидкости при задании известных на некоторый момент уровня жидкости и величины ускорения. По этой причине была выбрана следующая технология получения известных на некоторый момент полета уровня жидкости и величины ускорения: задавалось избыточное количество жидкости в части бака с отводящим трубопроводом (расход известен и постоянный) при нулевом ускорении. Далее ускорение плавно повышалось до известной величины, при этом скорость повышения ускорения зависела от трех условий: итоговая масса жидкости должна быть не меньше заданной, число Куранта меньше 1, итоговое поле скорости должно быть практически стационарным (периодическим). Последнее условие означает, что должны затухнуть все колебания, связанные с изменением ускорением, к моменту, когда масса жидкости станет равна заданной.

Только при такой постановке удалось смоделировать наблюдаемый в реальности центральный всплеск жидкости (рис.2). Также расчеты показали, что форма поверхности зависит как от мощности насоса, так и от особенностей конструкции у выходного патрубка. Возможно как формирование воронки (рис.3-а), так и понижение уровня у стенок бака (рис.3-б).

Анализ поведения жидкости при нулевом ускорении и изменении знака ускорения показал, что необходимо учитывать смачиваемость, в противном случае возможно образование физически неоправданных газовых полостей между жидкостью и стенкой (рис.4). Расчеты с учетом поверхностного натяжения и смачиваемости были проведены для реальных объектов на многопроцессорной версии FlowVision.

Расчеты реальных баков ракет-носителей подтвердили правильность предлагаемой технологии численного эксперимента и дали физически правильную картину распределения жидкости как при нулевом ускорении (рис.5-а), так и при повторном включении маршевого двигателя (рис.5-б).

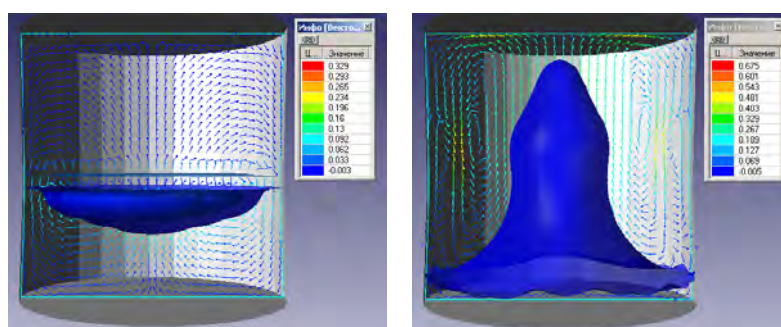


Рис.1. Численное моделирование всплеска воды (справа) в цилиндрическом сосуде с заданной начальной формой поверхности раздела газа и жидкости (слева) при внезапном увеличении силы тяжести.

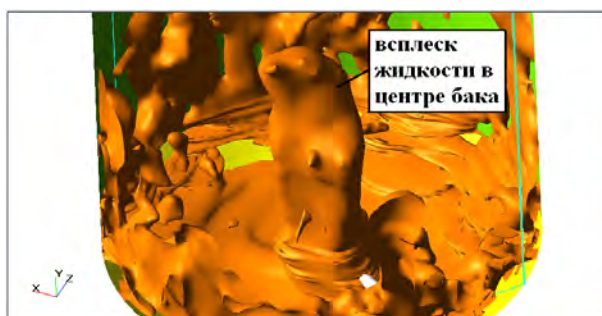


Рис.2. Всплеск жидкости в баке при выключении маршевого двигателя.

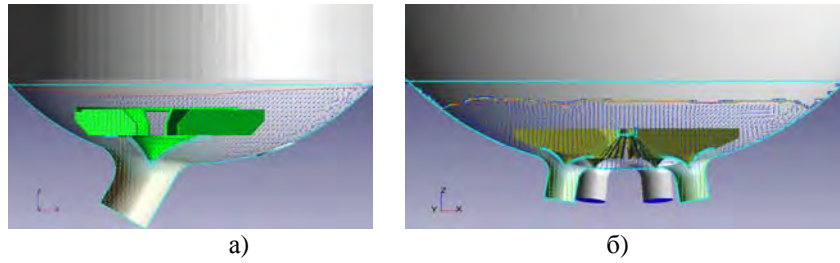


Рис.3. Форма поверхности для баков различной конструкции. а) – воронка; б) – понижение уровня у стенок.

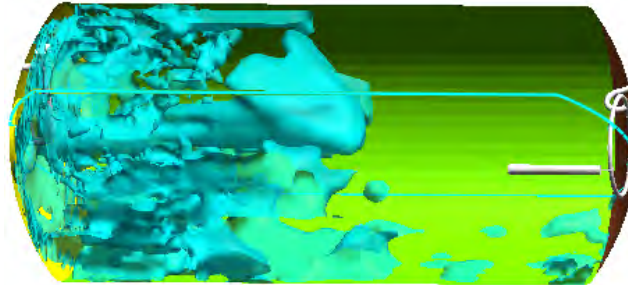


Рис.4. Поверхность жидкости при отсутствии силы тяжести и поверхностного натяжения.

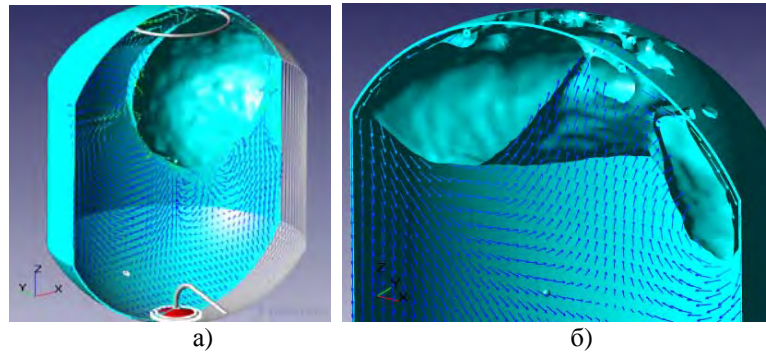


Рис.5. Поверхность жидкости с учетом поверхностного натяжения: (а) при отсутствии силы тяжести, (б) при включении маршевого двигателя.

Список использованных источников

1. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. <http://www.thesis.com.ru/software/flowvision/>.