

УДК 681.518.3

СНИЖЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ УРОВНЕМЕРА ТОПЛИВНЫХ БАКОВ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ С УЧЁТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Зажарский В. Д., Стадник Д. М., Одинокоев Д. А., Гимадиев А. Г.

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С. П. Королёва (национальный исследовательский университет), г. Самара

Одной из важных систем управления ракеты-носителя (РН) является система синхронного опорожнения баков (СОБ), роль чувствительного элемента в которой выполняет уровнемер. От точности уровнемера зависит остаток неиспользованных компонентов топлива в баках в конце полёта РН. Поэтому исследование погрешности уровнемеров и разработка мероприятий по повышению их точности является актуальной и важной задачей особенно для РН нового поколения.

Датчик уровня представляет собой вертикальную мерную трубку, внутри которой размещены ёмкостные чувствительные элементы на определённом расстоянии друг от друга (рис. 1). Для снижения чувствительности датчика к колебаниям зеркала жидкости к выходу из вертикального участка подсоединены две трубки меньшего диаметра, развёрнутые по кругу днища бака. По мере выработки топлива из топливного бака имеет место отставание уровня жидкости в уровнемере относительно уровня жидкости в баке, обусловленное инерционностью жидкости в датчике и гидравлическим сопротивлением его конструкции.

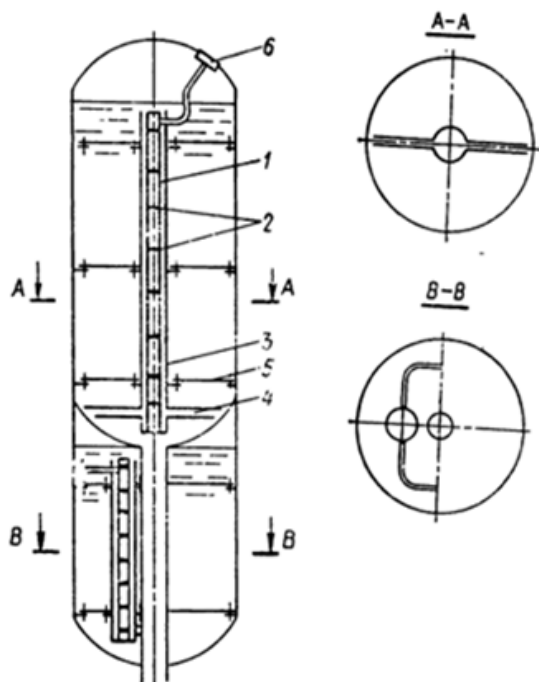


Рис. 1. Схема расположения датчиков системы СОБ в баках:
 1 – штанга; 2 – чувствительные элементы; 3 – труба успокоителя;
 4 – демпфер; 5 – растяжки крепления; 6 – герметичный электрический разъём

Идеальный датчик отслеживал бы уровень топлива в баке мгновенно. Однако из-за инерционности и гидравлического сопротивления трубок датчика происходит его запаздывание при изменении расхода компонента топлива из бака или возмущающих воздействий в виде изменения осевой или поперечной перегрузки, смены траектории полёта РН, изменении давления в газовой подушке бака.

Для исследования погрешности на основе принципиальной схемы уровнемера была составлена математическая модель, описывающая движение жидкости в уровнемере. Жидкость вытекает из бака через расходную магистраль. Уровнемер с чувствительными элементами расположен по центру бака. Течение в уровнемере полагалось одномерным, жидкость несжимаемой. На основании уравнения Бернулли для неустановившегося течения было составлено уравнение движения жидкости. Полученная математическая модель была рассчитана в пакете Matlab/Simulink. В качестве примера рассчитана погрешность датчика уровня окислителя в баке первой ступени РН «Союз-2-1в». Данная модель позволяет провести исследование погрешности датчика уровня компонента топлива при возмущающих воздействиях по мере полёта РН и выработки топлива. Возмущающие воздействия определяются траекторией полёта РН, циклограммой работы двигателей, задающей как изменение расхода топлива, так и перегрузки.

В результате расчёта была получена зависимость отклонения показаний датчика уровня от реального количества окислителя в баке при возмущениях в виде расхода окислителя, изменения площади зеркала жидкости в баке и решёток чувствительных элементов по высоте мерной трубки (рис. 2).

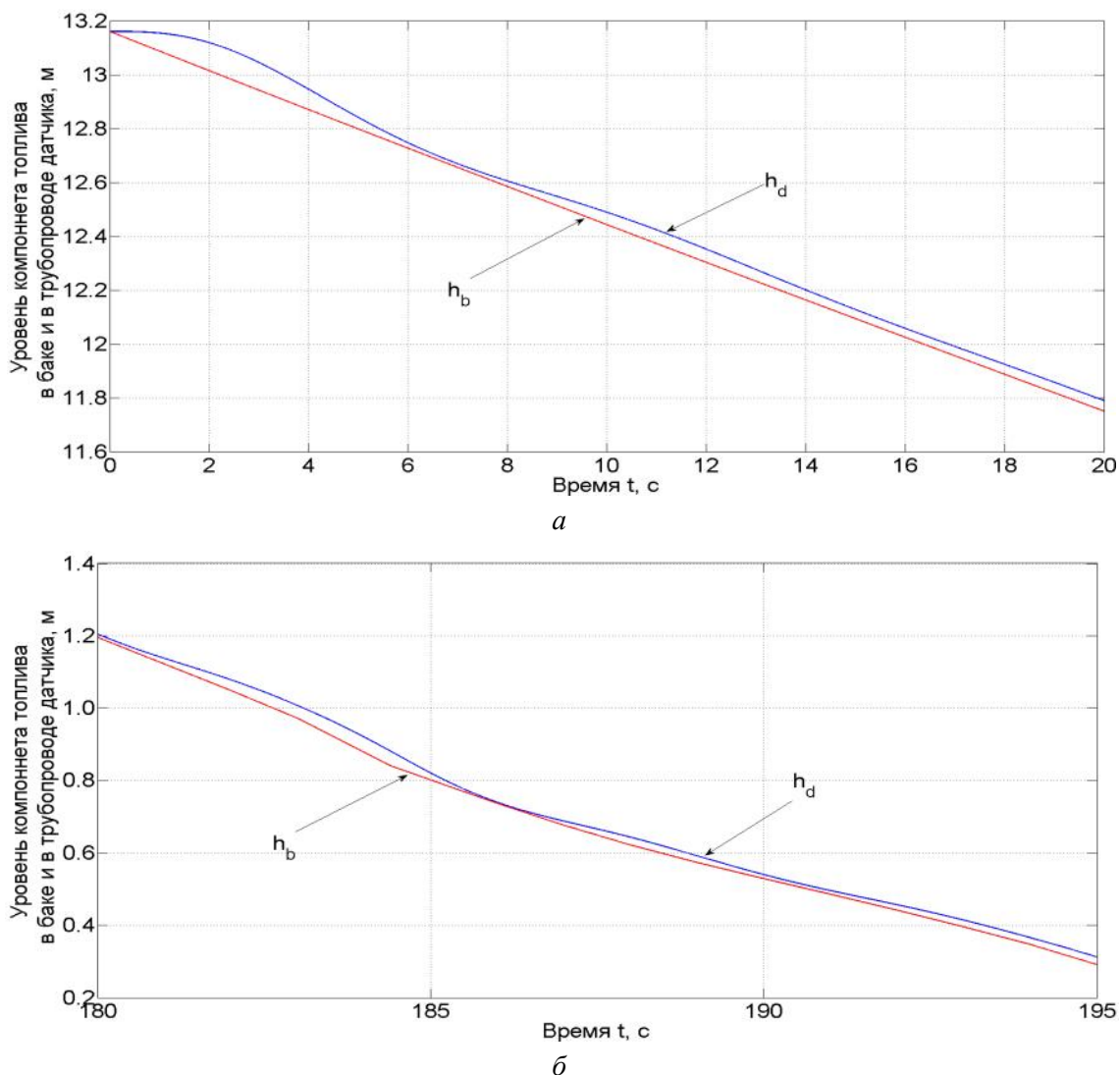


Рис. 2. Изменение уровня окислителя в топливном баке и мерной трубке датчика уровня окислителя в течение первых 20 секунд (а) и последних 15 секунд (б) полёта РН