



УДК 629.764.071.08:532.5

Весков Е.В., начальник группы ГП «КБ «Южное»

ГП «КБ «Южное», г.Днепропетровск, Украина

## РАСЧЕТ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ЗАПРАВКИ РАКЕТЫ-НОСИТЕЛЯ

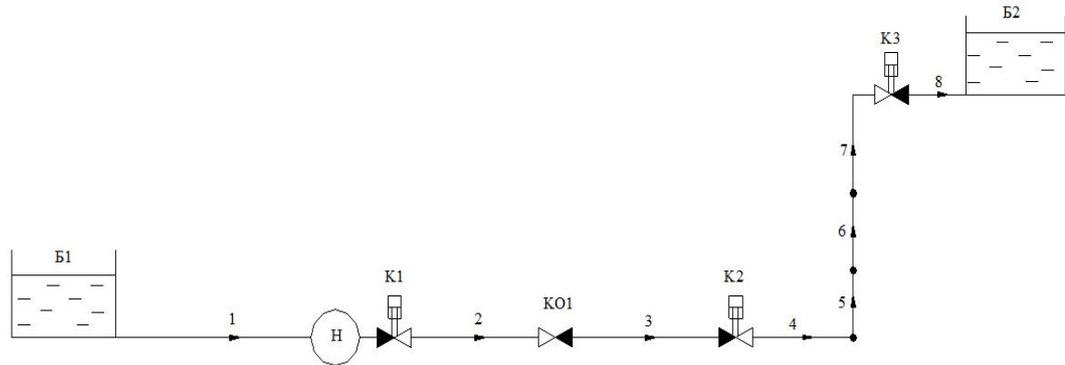
Целью данной работы является определение необходимости установки уравнительных резервуаров и оптимальной последовательности закрытия клапанов при окончании заправки топливного бака для снижения давления гидроудара.

Расчетная схема системы заправки приведена на рис.1.

Рассматриваются следующие варианты окончания процесса заправки топливного бака:

1. Закрытие К1, К2, К3 (клапаны начинают закрываться одновременно).
2. Закрытие К1 и К2 (клапаны начинают закрываться одновременно). Закрытие К3 после окончания закрытия К2
3. Закрытие К1, К3 (клапаны начинают закрываться одновременно). К2 закрывается после закрытия К1. Перед клапаном К2 установлен воздушный колпак для снижения давления при гидроударе.

Времена закрытия клапанов К1, К2, К3 составляют 10 с, 3 с, 0,5 с соответственно. Номинальный напор насоса – 90 м, номинальная подача насоса –  $0,0014 \text{ м}^3/\text{с}$ . Максимально допустимый напор в системе 168 м.



**Б1 - заправочная емкость; Б2 – топливный бак; КО – обратный клапан; К1 – клапан запорно-регулирующий с электроприводом; К2,К3 – клапаны с пневмоприводом; 1-8 - трубопроводы**

**Рис. 1 – Расчетная схема системы заправки ракеты –носителя**

Течение в трубопроводах системы заправки описывается уравнениями нестационарного движения жидкости.

Уравнения неразрывности и движения жидкости запишутся в виде [1], [2],[3], [4]:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{Q}{A} \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{a^2}{gA} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{Q}{A} \sin \alpha = 0, \quad (1)$$

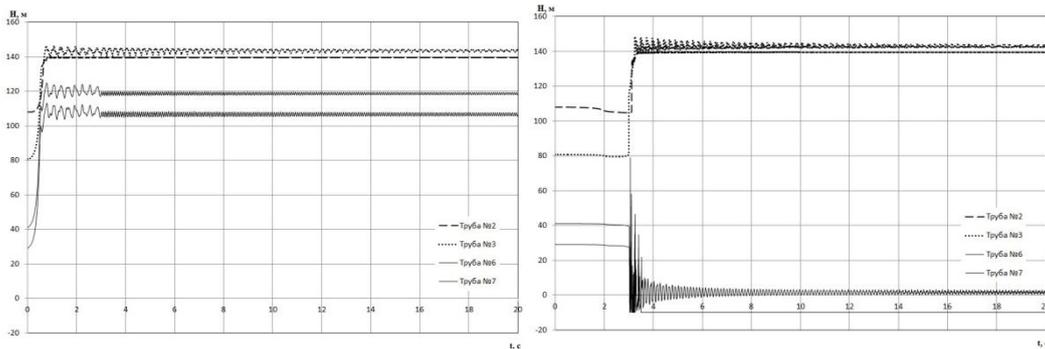
$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{Q}{A} \cdot \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{fQ|Q}{2gAD} = 0. \quad (2)$$

где  $Q$  – объемный расход, м<sup>3</sup>/с;  $A$  - площадь сечения трубы, м<sup>2</sup>;  $D$  – диаметр трубы, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с;  $f$  – коэффициент трения;  $\sin \alpha = dz/dx$  – угол наклона трубы.

Решение уравнений проводится методом характеристик. Граничные условия задаются в виде характеристических уравнений, устанавливающих взаимосвязь напора и расхода [1], [4].

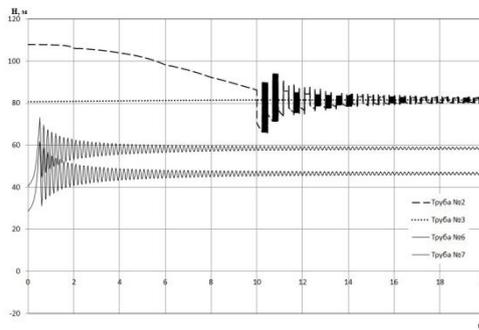
Достоинством варианта 1 является низкая погрешность заправки вследствие малого времени закрытия клапана К3. Однако результаты расчета показывают, что величина напора в системе близка к максимально

допустимой. В трубопроводах системы заправки наблюдается явление запирания [2] (напор в трубопроводах существенно превышает напор насоса при нулевом расходе) характерное для насосных систем оборудованных обратным клапаном.



а) вариант 1

б) вариант 2



в) вариант 3

**Рис. 2 – Напор в трубопроводах при закрытии клапанов**

Достоинством варианта 1 является низкая погрешность заправки вследствие малого времени закрытия клапана КЗ. Однако результаты расчета показывают, что величина напора в системе близка к максимально допустимой. В трубопроводах системы заправки наблюдается явление запирания [2] (напор в трубопроводах существенно превышает напор насоса при нулевом расходе) характерное для насосных систем оборудованных обратным клапаном.



В варианте 2 в трубопроводах, находящихся между насосом и клапаном К2 напор повышается до величины близкой к максимально допустимой, наблюдается явление запираания. Напор в трубопроводах между клапанами К2 и К3 падает ниже напора насыщенных паров компонента топлива, что приводит к кавитации. Данная последовательность закрытия клапанов не позволяет снизить напор в системе при гидроударе и снижает точность заправки бака вследствие длительного времени закрытия клапана.

Установка пневматического резервуара перед клапаном К2 позволяет снизить давление гидроудара, избежать возникновения запираания и обеспечить минимальную погрешность заправки. Недостатком системы является необходимость наличия компрессора с автоматической системой управления для поддержания необходимого объема газа в резервуаре [2].

### Список литературы:

1. *Лямаев Б.Ф., Небольсин Г.П., Нелюбов В.А.* Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах. Методы расчета на ЭВМ. Под редакцией Б.Ф. Лямаева. – Л.: Машиностроение., 1978. – 192с.
2. *Фокс Д.А.* Гидравлический анализ неустановившегося течения в трубопроводах: Пер. с англ. –М.: Энергоиздат., 1981. – 248 с.
3. *Watters G.Z.* Modern analysis and control of unsteady flow in pipelines. – Michigan: Ann Arbor Science Published Inc. 1979. – 251p. – ISBN 0-250-40228-9
4. *Wylie E.B., Streeter V.L.* Fluid transients. – Mc. Graw-Hill International Book Company. – 1978. – 384p. – ISBN 0-07-072187-4.