

РАСЧЕТ УСТРОЙСТВА УСТАНОВКИ ИМПУЛЬСНОЙ ПОДАЧИ ЖИДКОСТИ

А.А. Ларин¹, Е.Н. Фомин²

(¹Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
²Академия гражданской защиты Украины, Харьков)

Рассматривается конструкция пневмоимпульсного насоса. Предлагается способ увеличения создаваемого им давления на основе явления гидроудара.

пневмоимпульсный насос, гидроудар, импульсная подача жидкости

Введение. На современном этапе развития пожарной техники различные способы пожаротушения являются эффективными только в некоторых частных ситуациях. Поэтому очень важно правильно определить метод тушения в конкретных условиях. При выборе способа, необходимо руководствоваться большим числом рекомендаций. Так как не один из существующих способов не удовлетворяет всем перечисленным требованиям оптимальности, то актуально создание новых устройств пожаротушения с модернизацией их технических характеристик, уменьшением затрат на производство и ремонт, простотой использования.

В работе предлагается насос объемного типа, в котором подача перекачиваемой жидкости осуществляется посредством вытеснения ее из водозабора воздушным зарядом. За счет создания пульсирующего режима течения обеспечивается снижение сопротивления среды, уменьшаются энергозатраты. Схема пневмоимпульсного насоса дана на рис. 1. Принцип работы следующий [1]: воздух поступает в пневмокамеру 21, прижимает клапан 4 и выгибает мембрану 7 при достижении заданной величины (устанавливаемой регулировкой). При наступлении момента подрыва клапана 4 воздушный заряд поступает в водяную полость 22 и через трубу 19 выталкивает порцию жидкости в нагнетательный трубопровод. При движении водяного поршня по трубе 19 в водяной полости создается разрежение, под действием перепада давления на поверхности перекачиваемой жидкости и водяной полости открывается обратный клапан 20 и наполняется водяная полость 22, цикл повторяется.

В результате проведенных ранее исследований [1] выявлена закономерность пульсирующего режима работы насоса от "жесткости" пружины 16. Установлено влияние изменения объема пневмокамеры на

производительность насоса. Наиболее эффективный режим работы при давлениях 0,3-0,5 МПа. Такие умеренные параметры достигаются при компактности и маневренности ПИН.

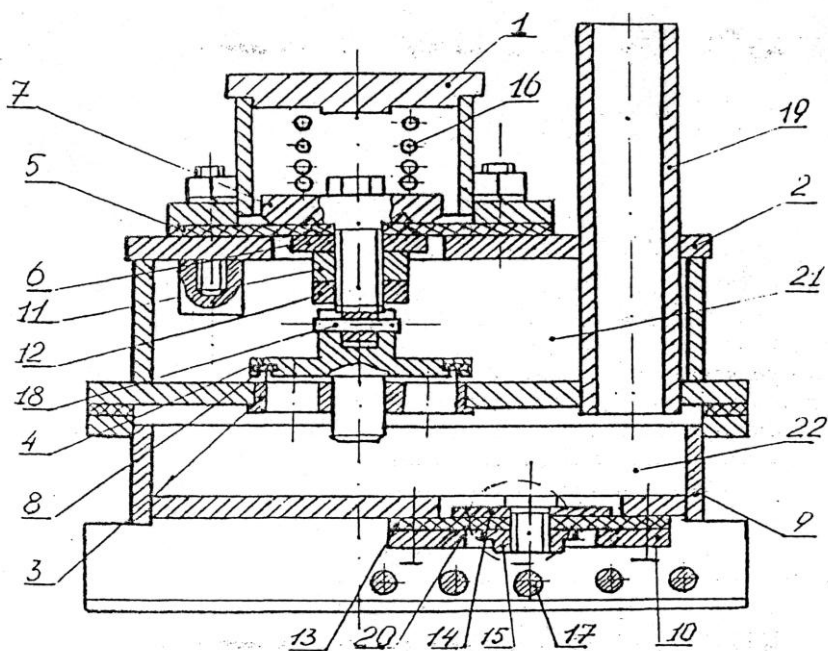


Рис. 1. Пневмоимпульсный насос:

1 – крышка пружинной камеры; 2 – крышка пневмокамеры; 3 – седло клапана; 4 – клапан; 5 – диафрагма; 6, 7 – шайбы диафрагмы; 8 – уплотнение клапана; 9 – корпус; 10 – гнездо обратного клапана; 11 – прижимная втулка; 12 – стяжной болт; 13 – уплотнение обратного клапана; 14 – обратный клапан; 15 – втулка обратного клапана; 16 – пружина; 17 – перфорированная обечайка; 18 – палец; 19 – труба; 20 – обратный клапан в сборе; 21 – пневмокамера; 22 – водяная полость

Разработанная конструкция ПИН позволила в широком диапазоне изменять характеристики по скважности, а также найти оптимальные соотношения между продолжительностью импульса и временем его ожидания. Основные преимущества насоса: простота конструкции, взрывобезопасность, экологичность. Такой насос легко герметизируется, его давление и подача регулируются, а отсутствие вращающихся частей способствует увеличению технического ресурса.

Данный насос позволяет развивать давление жидкости в трубе 19 до пяти атмосфер. При пожаротушении реальных объектов часто возникает необходимость подать жидкость на значительную высоту или расстояние. Поэтому давление в 5 МПа является недостаточным. Для решения этой проблемы предлагается использовать явление гидроудара.

Гидравлический удар проявляется себя при внезапном изменении скорости движения жидкости (закрытие затвора, клапана ...) вследствие чего возникает повышенное давление. Физическую картину этого явления, можно представить следующим образом [2, 3]. При закрытии задвижки не вся масса жидкости прекращает течение мгновенно. Вначале прекращает движение слой жидкости, непосредственно соприкасающийся с затвором затем все остальные. При этом жидкость сжимается ранее остановившаяся масса жидкости, и в результате повышения давления несколько расширяется труба, что приводит к тому, что в трубу войдет дополнительное количество жидкости.

Смоделировать эффект гидроудара можно, установив клапан рассчитанный на повышенное давление, в конце трубы 19. Когда развивающийся во времени импульс достигнет клапана, жидкость будет останавливаться слоями и сжиматься, как при гидроударе. Это вызовет резкое повышение давления и клапан откроется, выпустив небольшую порцию сильно сжатой жидкости. И процесс может быть повторен. Такой процедурой можно зарядить некоторый гидроаккумулятор, создав, таким образом, большой объем жидкости под высоким давлением.

Использовать стандартную теорию гидроудара нельзя из-за импульсного характера движения жидкости в трубе 19. Поэтому для определения давления необходимо решить начально-краевую задачу нестационарной гидродинамики сжимаемой жидкости [4].

Решение этой задачи предлагается выполнить методом конечного элемента (МКЭ) с использованием стандартных программных комплексов. Движение жидкости в трубе предполагается ламинарным.

В качестве жидкости используется пресная вода со следующими физическими характеристиками: номинальное значение плотности $\rho = 998 \text{ кг/м}^3$; коэффициент динамической вязкости $\mu = 101 \cdot 10^{-5}$; длина трубы – $L = 2 \text{ м}$.

Труба моделировалась в виде осесимметричной конечно-элементной модели в плоской постановке с регулярной сеткой (рис. 2). На границе $x = L$ прикладывался импульс $P = 5 \text{ МПа}$ длиной $\Delta t = 0,1$ (технологически оптимальные параметры насоса. При решении задачи были определены давления и скорости в трубе в различные моменты времени (рис. 3). На рисунке видно что эффект гидроудара, как и предполагалось имеет

место и повышает номинальное вырабатываемое давление пневмоимпульсным насосом в шесть раз.

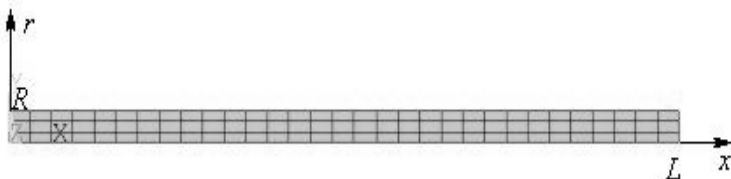
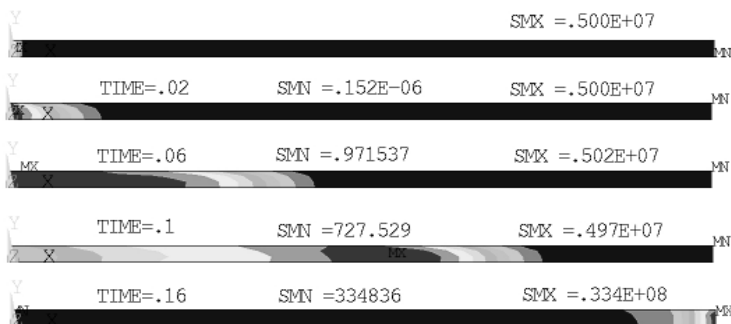
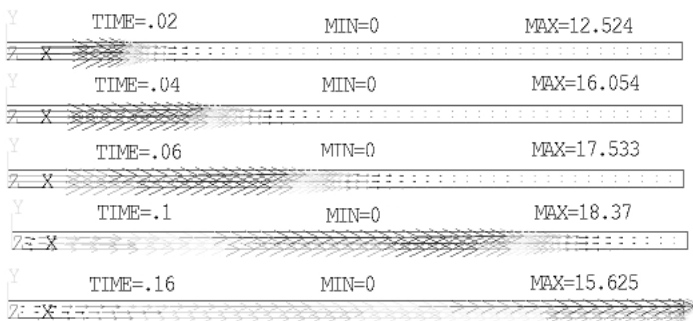


Рис. 2. Конечно-элементная модель



а



б

Рис. 3. Распределение давления (а) и скорости (б) в трубе

ПИН имеет возможность регулировки времени действия импульса, поэтому интересным является определение зависимости максимального давления на клапан от времени действия импульса (рис. 4, а). Из графика видно, что максимальное давление достигается при $\Delta t = 0,12$ с.

Зависимость давления от плотности жидкости при постоянном коэффициенте вязкости практически линейна и приводит к повышению давления

с ростом плотности (рис. 4, б). На рис. 5 графики 1 – 4 отражают распределение максимального давления в момент времени $t = 0,1, 0,15, 0,2$ и $0,25$ с соответственно. Зависимость максимального возникающего давления в трубе от ее длины (в независимости от времени наблюдения) представлена на рис. 6 и носит гармонический характер.

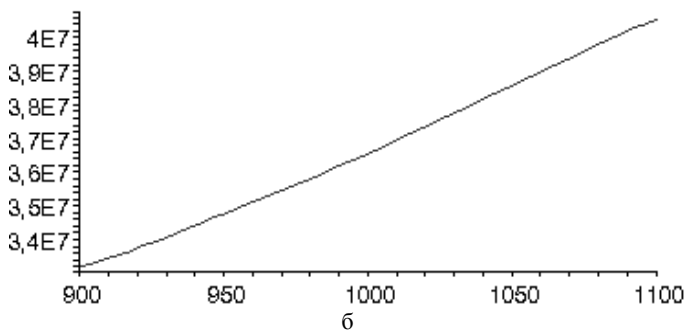
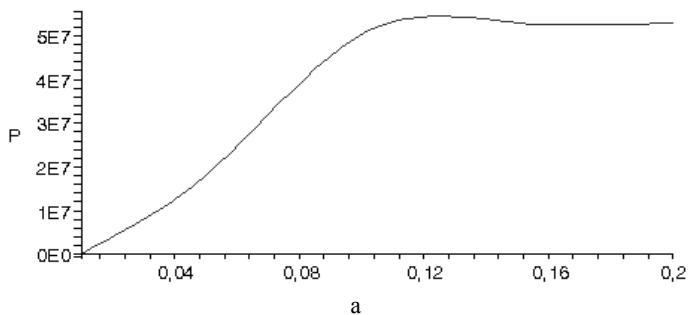


Рис. 4. Зависимость максимального давления в трубе от времени действия импульса (а) и плотности жидкости при постоянной вязкости (б)

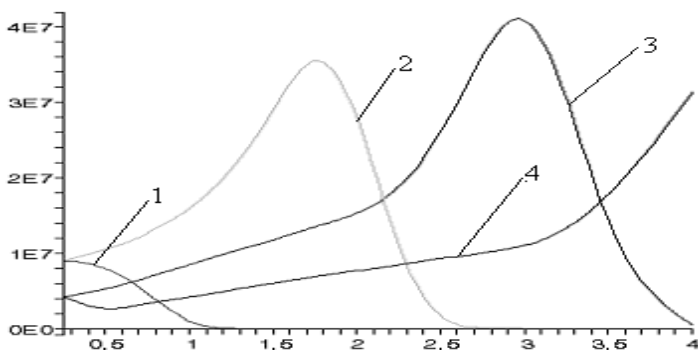


Рис. 5. Распределение максимального давления

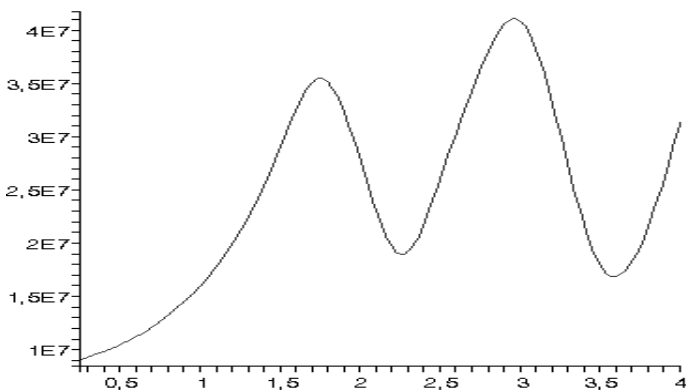


Рис 6. Зависимость максимального давления от длины трубы при фиксированной плотности и времени действия импульса

Выводы. В работе рассмотрены конструкция пневмоимпульсного насоса и предложен способ увеличения вырабатываемого давления. Анализ развития импульса в трубе показал, что использование эффекта гидравлического удара позволяет увеличить значение максимального давления в 6 раз. Представлены зависимости максимального давления от длины трубы, времени импульса и плотности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рахмилевич З.З. *Насосы в химической промышленности*. – М.: Химия, 1990. – 240 с.
2. Балакирев В.С. Софиев А.Э. *Применение средств пневмо- и гидроавтоматики в химических производствах*. – М.: Химия, 1973. – 176 с.
3. Повх И.Л. *Техническая гидромеханика*. – Л.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
4. В.А. Большаков, Ю.М. Константинов, В.Н. Попов и др., *Справочник по гидравлике*. – К.: Вища школа, 1984. – 456 с.
5. Флетчер К. *Вычислительные методы в динамике жидкостей: Пер. с англ. - Т. 2*. – М.: Мир, 1991. – 317 с.

Поступила 4.02.2005

Рецензент: кандидат технических наук, доцент А.В. Гелета,
факультет военной подготовки Харьковского государственного
технического университета строительства и архитектуры.