

УДК 532.529.5

## ПРИКЛАДНЫЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБОПРОВОДЕ С ОГРАНИЧЕННОЙ ИСКУССТВЕННОЙ ГАЗОВОЙ КАВЕРНОЙ

© 2011 г.

Е.Б. Гартиг, И.Г. Благовещенский

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

spm@bmstu.ru

Поступила в редакцию 16.05.2011

Дается обоснование возможностей создания пульсаций в потоке жидкости в результате автоколебаний ограниченной искусственной газовой каверны. Такая каверна может быть создана при подаче газа в зону отрыва потока за кавитатор, установленный в гидравлической магистрали, а ограничение развития каверны в осевом направлении обеспечивается установленным ниже по потоку местным гидросопротивлением типа дроссельной шайбы. На основе разработанной математической модели данного кавитационного течения выявлены условия возникновения в системе автоколебаний, показана возможность реализации пульсационных течений в широком низкочастотном диапазоне частот (2–100 Гц).

*Ключевые слова:* гидролиния, динамика течения жидкости, ограниченная газовая каверна, результаты эксперимента, автоколебания, технологические процессы.

Внедрение интенсивных инновационных технологий с использованием вибраций оборудования и пульсаций потока является одним из приоритетных направлений развития многих производств в пищевой, химической, энергетической, в других отраслях промышленности и в коммунальном хозяйстве. Колебательные режимы течения рабочих сред используются в процессах смешения, растворения, фильтрации, экстракции, мойки продуктов, промывки внутренних и внешних поверхностей оборудования, для интенсификации теплообмена и в других случаях. Создание пульсирующих потоков достигается применением разных способов и устройств, обеспечивающих создание потока среды с заданными параметрами колебательного движения. Наиболее широкое применение для создания пульсаций в технологических процессах получили способы, основанные на регулировании проходного сечения внутреннего потока с помощью различных механических устройств дроссельного типа. Для тех же целей используются последовательное подключение рабочего участка к магистралям высокого и низкого давления, гидродинамическая кавитация, автоколебания клапанов, вибрации мембран и другие приемы.

Проведенные исследования показывают, что возбуждения пульсаций течения жидкости в трубопроводе можно добиться путем создания в трубопроводе ограниченной газовой каверны, образующейся за кавитатором в результате под-

дува газа и замыкающейся на местном гидросопротивлении ниже по потоку. Такая ограниченная искусственная каверна является потенциально неустойчивой и может генерировать возмущения, передающиеся в поток протекающего компонента. Схема течения с ограниченной искусственной газовой каверной представлена на рис. 1, где 1 – подводящий трубопровод с потоком жидкости; 2 – магистраль подачи газа с установленной на ней критической шайбой; 3 – кавитатор; 4 – искусственная газовая каверна; 5 – дроссельная шайба на выходе трубопровода.

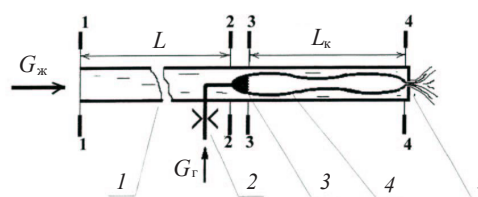


Рис. 1

На основе теоретических и экспериментальных исследований данного вида кавитационного течения была разработана его математическая модель, получено выражение для входного импеданса ограниченной газовой каверны, исследована устойчивость рассматриваемой гидросистемы, вскрыт механизм автоколебаний, получены зависимости для амплитуд и частот автоколебаний, обоснована возможность перехода к релаксационным колебаниям в виде последовательности гидроударов.

Обобщение этих результатов дано в [1]. В работе показано, что данный способ создания колебаний не требует применения сложных дополнительных устройств, излишних энергозатрат и может быть реализован на стандартной, имеющейся на каждом производстве, материальной базе. Он является хорошо управляемым и может быть автоматизирован. На одно из направлений применения данного способа возбуждения колебаний получен патент [2].

Результаты обработки осциллограмм с записью изменения параметров пульсаций в гидросистеме при автоколебаниях ограниченной искусственной газовой каверны приведены на рис. 2. Здесь обозначено: кружочки –  $G$  – средний расход жидкости; квадратики –  $P_i$  – средний уровень давления в  $i$ -м сечении магистрали; треугольники –  $\Delta_i$  – отношение полуразности максимального и минимального значений давления, фиксируемых  $i$ -м датчиком, отнесенных к среднему его уровню; звездочки –  $F$  – частота (рис. 2а – для частоты 10–16 Гц, рис. 2б – для частоты 50–102 Гц).

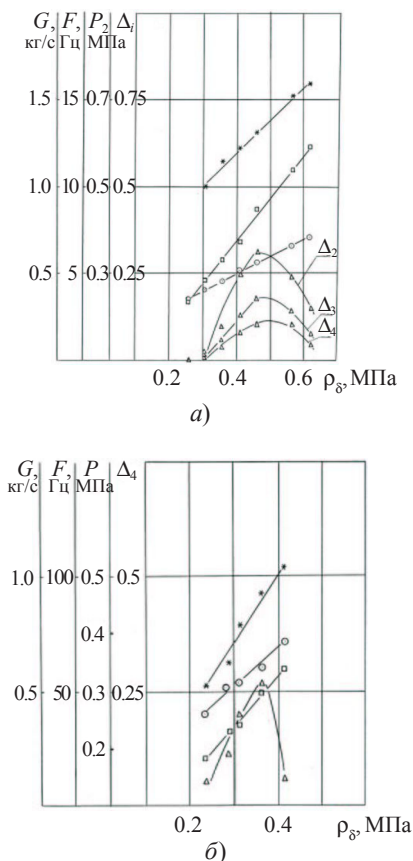


Рис. 2

Характерный вид самих осциллограмм приведен на рис. 3. На рис. 3а видно, что в рассматриваемом примере в широком диапазоне

существования колебания имеют вид, близкий к гармоническому. Для случая релаксационных автоколебаний с периодом  $T \sim 0.2-0.5$  с осциллограммы показаны на рис. 3б.

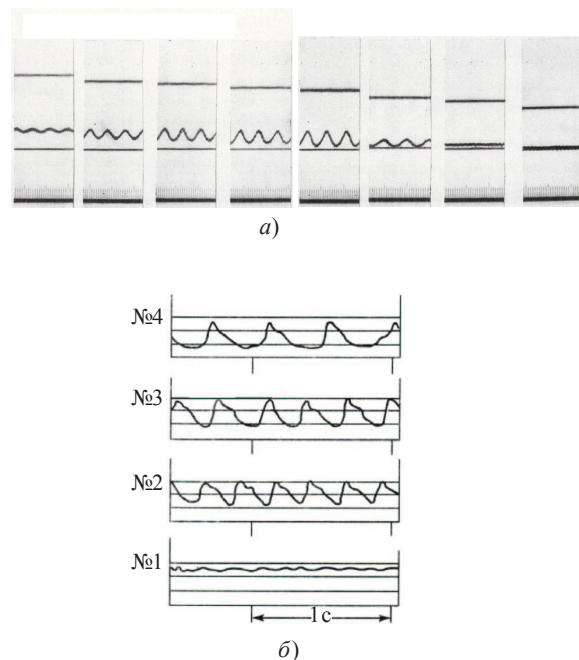


Рис. 3

Частотный диапазон колебаний в гидросистеме в рассматриваемых случаях достаточно широк и может регулироваться за счет изменения расходных параметров течения фаз, регулирования длины ограниченной газовой каверны, изменения собственных характеристик гидросистемы. Релаксационные колебания с размахом колебаний давления, соответствующим явлению гидроудара, и изменением расхода жидкости в расходном трубопроводе вплоть до изменения его направления можно реализовать также и при отсутствии кавитатора, производя вдув газа со стенки магистрали поперечно непосредственно в поток жидкости. На практике рассматриваемым способом в системе создавались колебания в частотном диапазоне от 2 до 100 Гц.

В написании статьи принимал участие П.М. Шкапов.

*На последнем этапе исследования проводились при поддержке грантом Президента РФ для ведущих научных школ № НШ-5271.2010.8.*

#### Список литературы

1. Шкапов П.М. Создание пульсирующих потоков жидкости на основе автоколебаний ограниченной искусственной газовой каверны // Хранение и переработка сельхозсырья. 2010. №9. С. 55–58.

2. Патент RU №208496 С1 от 20.07.97. Способ осуществления / В.Г. Кинелев, П.М. Шкапов. Бюл. очистки различных поверхностей и устройство для его №20.

**APPLIED PROBLEMS OF DYNAMICS OF THE LIQUID FLOW IN A PIPELINE  
WITH A LIMITED ARTIFICIAL GAS CAVITY**

*E.B. Gartig, I.G. Blagoveshchenskij*

Possibilities of creation of pulsations in a liquid flow as a result of self-oscillations of a limited artificial gas cavity are substantiated. Such a cavity can be created by pumping gas in the zone of separation of the stream behind the cavitator, installed in the hydraulic duct, while limiting the development of a cavity in the axial direction is provided with the local type of a throttle washer-type hydro-resistance installed lower along the stream. Based on the developed mathematical model of the cavitation flow, conditions of realization of self-oscillations in the system are revealed; possibility of realization of pulsating flows in a wide low-frequency range (2–100 Hz) is shown.

*Keywords:* hydraulic line; dynamics of fluid flow, limited gas cavity, the results of the experiment, autooscillations, technological processes.