

УДК 681.5.033

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАСИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ УСКОРЕННОГО ПОТОКА ЖИДКОСТИ ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ

© 2012 М. А. Гимадиев¹, А. Г. Гимадиев²¹ООО Научно-производственное предприятие «Гималаи»²Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет)

Приведены результаты экспериментальных исследований эффективности действия гасителя энергии ускоренного потока жидкости в трубопроводных магистралях технологических установок. Описано экспериментальное оборудование и измерительно-регистрационный комплекс приборов, использованных при испытании гасителя. Дано сравнение экспериментальных и расчётных дроссельных характеристик гасителя при установившемся движении жидкости. Представлены осциллограммы переходных процессов в трубопроводной магистрали, подтверждающих адекватность расчётной модели и требуемую эффективность действия гасителя.

Гаситель, энергия потока жидкости, оборудование, эксперимент, адекватность расчётной модели, эффективность гасителя.

Важным при разработке гасителей энергии ускоренного потока жидкости [1] (в дальнейшем - гаситель) является экспериментальная проверка адекватности его математической модели и правильность методики выбора параметров. Гаситель предназначен для снижения гидродинамических нагрузок в изгибах трубопроводов, на входе в запорно-регулирующую арматуру в нештатных ситуациях при ускоренных потоках жидкости [2-5]. Гидродинамические нагрузки особенно опасны для магистралей, собранных из пластмассовых и металлопластиковых трубопроводов, прочность которых ограничена по сравнению с металлическими трубопроводами. Поэтому возникает необходимость в создании и применении гасителей энергии (объёмной скорости) ускоренного потока жидкости, которые иногда называют ещё успокоителями, гасителями пульсаций потока жидкости [6-8].

Экспериментальному исследованию эффективности действия подвергался опытный экземпляр гасителя, параметры

которого были определены по методике, изложенной в работе [1].

Конструкция и внешний вид гасителя представлены на рис. 1. Корпус 1 гасителя выполнен из отрезка трубопровода, на входе и выходе которого ввёрнуты штуцеры для подсоединения металлопластиковой трубы с внутренним диаметром 15 мм. Входной штуцер 2 прижимает к корпусу перфорированную проставку 3, в центре которой при помощи болта 4 прикреплён подвижный колпак 5. Внутри колпака размещена пружина 6, поджатая опорой 7, проходящей через болт 4. Внутри опоры 7 размещена упорная втулка 8. Между колпаком 5 и перфорированной проставкой 3 размещена втулка 9, при помощи которой устанавливается первоначальный зазор. Штуцер 10 со стороны выхода гасителя прижимает к корпусу 1 основание 11, которое формирует начальное проходное сечения гасителя. При помощи упорной втулки 7 регулируется площадь проходного сечения гасителя в момент максимальной скорости потока жидкости.

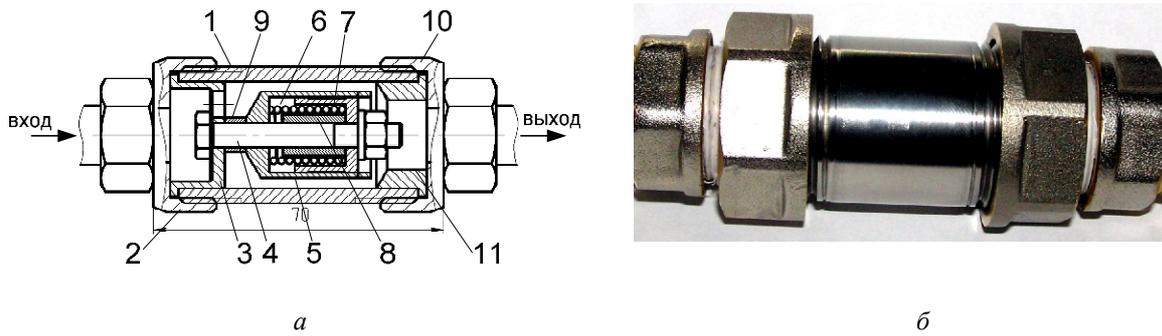


Рис. 1. Конструктивная схема (а) и внешний вид (б) гасителя ускоренного потока жидкости

Гаситель функционирует следующим образом. Жидкостная пробка, движущаяся с большой скоростью, входит в корпус гасителя, и колпак 5 под действием образовавшегося перепада давления мгновенно садится на упор 7. Скорость жидкости уменьшается до величины, определяемой минимальным проходным сечением гасителя. При достижении перепада давления ниже начала срабатывания гасителя скорость может возрасти до величины, определяемой его начальным проходным сечением. Таким образом, происходит потеря энергии жидкостной пробки.

Для экспериментального исследования расходных характеристик и эффективности действия гасителя авторами разработана экспериментальная установка, пневмогидравлическая схема которой представлена на рис. 2.

Установка состоит из вертикальной ёмкости в виде трубопровода 8 с внутренним диаметром 132 мм, соединённого с металлопластиковыми трубопроводами 11 и 30 с внутренними диаметрами 15 мм. В трубопроводной магистрали 30 установлены диафрагма 21 толщиной 1,3 мм с диаметром отверстия 6 мм и гаситель 23, на входе которого установлен датчик давления 22. На диафрагме 21 установлен датчик перепада давления 20 для косвенного измерения расхода жидкости при установленном движении жидкости. При неустановившемся движении жидкости

для измерения скорости потока жидкости использовалась трубка Пито 19, на которой установлен датчик перепада давления 18. Трубопроводная магистраль 30 оканчивается шаровым краном 25 с датчиком угла поворота его ручки 26.

Гидравлическая магистраль 30 имеет возможность соединения посредством шарового крана 9 с ёмкостью 8 и через шаровой кран 10 - с вертикальным участком трубопровода 11. Ёмкость 8, в свою очередь, запитана от воздушного компрессора 16 через регулятор давления 15 и шаровой кран 13 с выходом насоса 1 через краны 2 и 3. Давление настройки регулятора 15 контролируется по манометру 14, а в ёмкости 8 - манометром 7. При установленном движении расход жидкости дополнительно контролируется весовым методом. Для этого измеряют массу жидкости, вытекшей в мерный сосуд 27 за определённое время.

При установленном движении жидкости объёмный расход жидкости определяется ещё одним косвенным методом – по изменению уровня жидкости в ёмкости. Для этого внутри ёмкости вмонтирован датчик уровня ёмкостного типа б. При известном диаметре вертикальной трубы D_{mp} и измеренном уровне жидкости $h_{yp}(t)$ объёмный расход определяется по известной формуле:

$$Q(t) = p D_{mp}^2 (dh_{yp}(t) / dt) / 4.$$

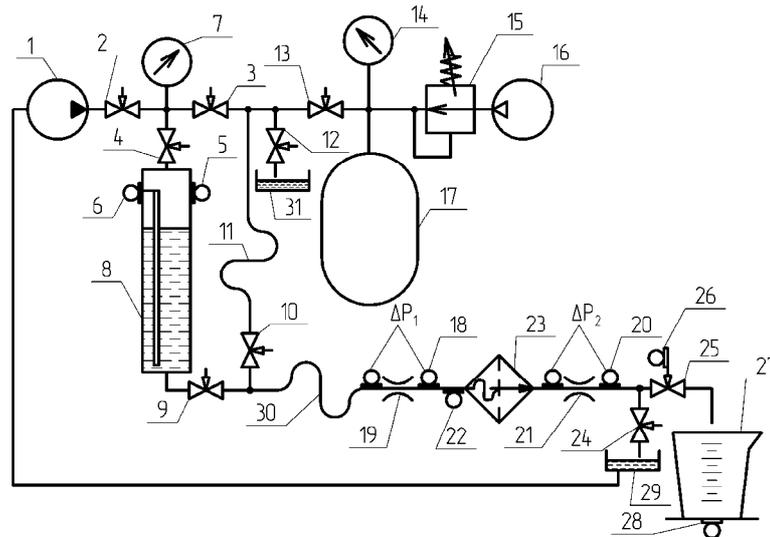


Рис. 2. Пневмогидравлическая схема экспериментальной установки для исследования статических и динамических характеристик гасителя энергии ускоренного потока жидкости: 1 – гидравлический насос НСУ-02; 2, 3, 4, 9, 10, 12, 13, 24, 25 – шаровые краны; 5 – датчик давления типа МРХ4250АР; 6 – датчик уровня ёмкостного типа САУ414; 7, 14 – манометры 0...1 МПа, кл. точности 0,6; 8 – гидравлическая ёмкость D_y132 высотой 2,5 м; 11 – вертикальный участок трубопроводной магистрали; 15 – регулятор давления воздуха; 16 – компрессор; 17 – ёмкость 0,05 м³; 18, 20 – датчики перепада давления типа МРХ4250DP; 19 – трубка Пито; 21 – диафрагма D_y6 ; 22 – датчик давления Вм206; 23 – исследуемый гаситель ГУП-15/1; 26 – датчик угла поворота крана; 27 – мерная ёмкость; 28 – датчик силы (веса); 29 – сливная ёмкость 0,2 м³; 30 – трубопроводная магистраль D_y15 длиной 15 м; 31 – сливная ёмкость

Датчики давления и перепада давления выполнены в монолитном корпусе и имеют встроенную схему усиления и температурную компенсацию выходного сигнала. Питание датчиков давления и модуля АЦП осуществлялось от одного USB-порта персонального компьютера. Все подключения выполнены экранированным проводом. Для измерения уровня жидкости был разработан специальный датчик ёмкостного типа, представляющий собой проходящий вдоль оси трубы металлический стержень. Для исключения контакта материала стержня с жидкостью он был покрыт тонким слоем клея. Электрическая схема датчика расхода построена по мостовой схеме с питанием от электрического генератора напряжения с частотой 30 кГц.

Для регистрации сигналов с датчиков применялся 16-канальный модуль ввода-вывода L-264 фирмы L-Card, подключенный к параллельному порту персонального компьютера (рис. 3).

Обработка экспериментальных данных осуществлялась с помощью пакета программ ПОВС ООО НПП «Гималаи».

Экспериментальное исследование гасителя энергии ускоренного потока жидкости велось для следующих режимов: установившееся движение жидкости через гаситель, при котором определялась его дроссельная характеристика; ускоренное движение жидкости через гаситель, при котором определялась эффективность действия гасителя.

Для проверки адекватности математической модели гасителя вначале была экспериментально определена его дроссельная или статическая характеристика, представляющая собой зависимость скорости потока жидкости через него от перепада давления. При определении дроссельной характеристики гасителя на установившемся режиме движения жидкости краны 4, 9, 12, 13 были закрыты, а краны 2, 3, 10, 25 открыты (рис. 2).

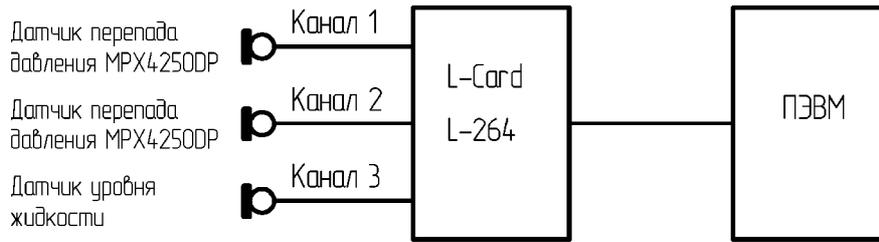


Рис. 3. Функциональная схема измерительно-обрабатывающего комплекса

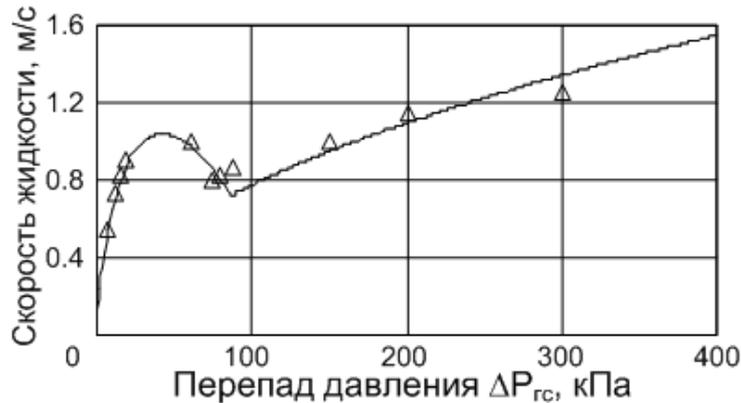


Рис. 4. Дроссельная характеристика гасителя энергии ускоренного потока жидкости: — - расчёт; Δ - эксперимент

Из анализа зависимостей, представленных на рис. 4, следует, что рассчитанные и экспериментальные данные по дроссельной характеристике гасителя отличаются не более чем на 7%, что подтверждает достаточно высокую точность разработанной авторами методики расчёта [1, 4].

Для реализации ускоренного режима движения жидкости вначале заполнялся участок трубопровода 11 посредством кранов 2 и 3, которые после заполнения трубопровода закрывались. При закрытом положении крана 10 открытием крана 13 в трубопроводе 11 устанавливалось заданное давление воздуха в ёмкости 8. Затем кран 13 закрывался для исключения влияния регулятора и компрессора на давление воздуха в трубопроводе 11. Эксперимент проводился для различных положений выходного крана 25, обеспечивающего разные ускорения жидкостной пробки.

При экспериментальном определе-

нии эффективности действия гасителя на установке были реализованы условия, подобранные расчётом гидродинамических параметров при помощи пакета программ ProFlow [3]: объём воздушной подушки в ёмкости (см. рис. 1) - $3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; длина вертикального участка трубопровода - 2,5 м; длина воздушного участка за запорным краном, в котором происходит разгон, - 15 м. Трубопроводная магистраль за гасителем заканчивалась небольшим участком трубопровода с регулируемым дросселем. Меняя степень открытости дросселя, можно регулировать противодействие воздушного потока и, тем самым, изменять скорость потока жидкостной пробки. Резким открытием запорного крана (рис.2) за время менее 0,1 с жидкостная пробка направлялась ускоренно по трубопроводу в сторону гасителя.

Осциллограмма скорости потока жидкости при прохождении жидкостной пробки через гаситель представлена на рис. 5.

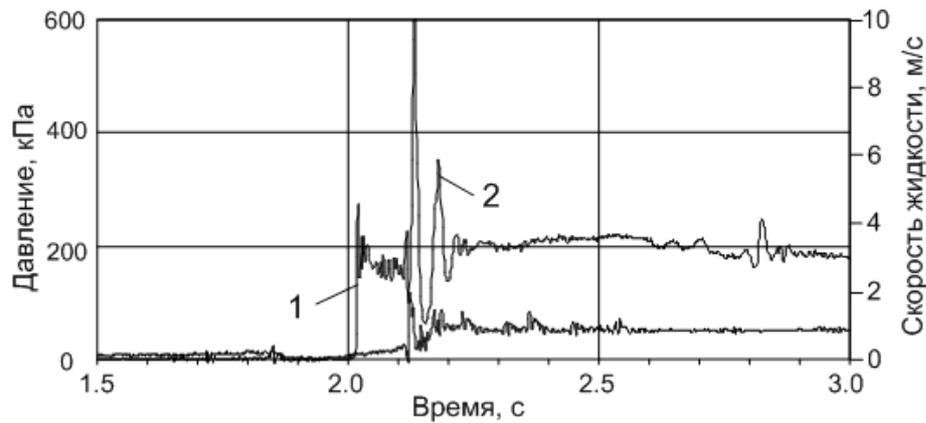


Рис. 5. Осциллограмма прохождения жидкостной пробки через гаситель:
1 – скорость потока жидкости; 2 – давление на входе в гаситель

Из осциллограммы следует, что жидкостная пробка входит в полость гасителя со скоростью 3 м/с. В этот момент перед гасителем возникает повышенное давление 0,6 МПа, которое затем затухает колебательно до уровня давления 0,2 МПа, соответствующего давлению в ёмкости 17 (рис.2). Скорость потока жидкости после вхождения в полость гасителя падает до 1 м/с.

На рис. 6 более подробно представлено изменение скорости жидкостной пробки при прохождении через гаситель, и там же приведена соответствующая расчётная зависимость. Снижение скорости потока жидкости с 3 до 1 м/с происходит в гасителе в течение 0,02 с. Скорости потока жидкости во время переходного процесса, определённые расчётным путём и

экспериментально, отличаются не более чем на 7...10 %, что характеризует адекватность математической модели гасителя при неустановившемся движении жидкости.

Давление на входе в гаситель в момент прохождения через него жидкостной пробки растёт скачкообразно, причём максимальное его значение существенно отличается от расчётного значения в сторону занижения, что объясняется размытостью фронта газ-жидкость перед жидкостной пробкой и возможным включением в неё газовых пузырьков.

Таким образом, экспериментально доказана работоспособность гасителя энергии ускоренного потока жидкости и достаточная его эффективность при допустимом наибольшем давлении на входе.

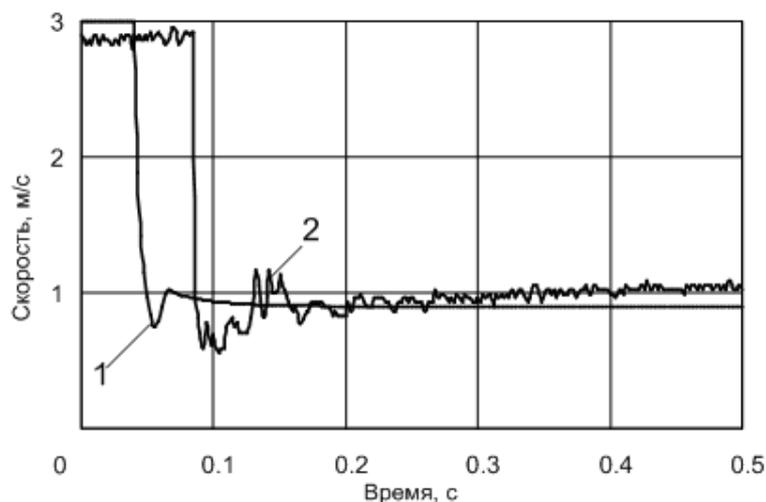


Рис. 6. Осциллограмма скорости прохождения жидкостной пробки через гаситель: 1 – расчёт [1]; 2 – эксперимент

Библиографический список

1. Гимадиев, М.А. Расчёт характеристик и выбор параметров гасителя энергии ускоренного потока жидкости [Текст] / М.А. Гимадиев // Изв. СНЦ РАН, 2007. – С. 585-590.
2. Шорин, В.П. Математическое моделирование гидродинамических процессов в частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали [Текст] / В.П. Шорин, М.А. Гимадиев // Вестн. СГАУ. – Самара, 2006. - №1(9). – С. 207-213.
3. Шорин, В.П. Алгоритм и программа расчёта гидродинамических параметров частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали [Текст] / В.П. Шорин, М.А. Гимадиев // Вестн. СГАУ. – Самара, 2006. - №1(9). – С. 214-218.
4. Гимадиев, М.А. Гаситель энергии потока жидкости [Текст] / М.А. Гимадиев, А.А. Гимадиев – Пат. РФ на полезную модель №66473 от 05.04.2007 г.
5. Гимадиев, М.А. Экспериментальное исследование гидродинамических характеристик трубопроводной магистрали, частично заполненной воздушной средой [Текст] / М.А. Гимадиев; Самар. гос. аэрокосм. ун-т.- Самара, 2005 – 21 с. - Деп. в ВИНТИ 24.01.2005, №24-B2005.
6. Гимадиев, М.А. Анализ гидродинамических процессов в трубопроводных магистралях технологических аппаратов [Текст] / М.А. Гимадиев; Самар. гос. аэрокосм. ун-т.- Самара, 2007. – 12 с. - Деп. в ВИНТИ 28.02.2007, №188-B2007.
7. А.с. 1037012 СССР, Кл. F 16L 55/02. Устройство для гашения кинетической энергии потока [Текст] / Г.Н. Тянь, К.Д. Бозов, Л.Э. Башмакова (СССР). - Заявл. 16.11.81; опубл. 23.08.83, Бюл. № 31.
8. А.с. 1564458 СССР, МКИ5 F 16 L 55/02. Устройство для гашения кинетической энергии потока [Текст] / С.Г. Криулин, В.И. Криулина, А.А. Кандауров. - Заявл 04.01.88; опубл. 15.05.90, Бюл. №18.

**EXPERIMENTAL STUDY OF A POWER ABSORBER
OF ACCELERATED FLUID FLOW IN PIPELINES**

© 2012 M. A. Gimadiev¹, A. G. Gimadiev²

¹The Gimalai Ltd

²Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University)

The paper presents the results of experimental research of the efficiency of the power absorber of accelerated fluid flow in processing plant pipelines. The experimental equipment and measuring devices used in testing the absorber are described. Experimental and design characteristics of the throttle damper for a steady fluid flow are compared. The oscillograms of transient processes in a pipeline that confirm the adequacy of the design model and the required efficiency of the absorber's action are presented.

Absorber, fluid flow power, equipment, experiment, adequacy of the computational model, efficiency of the absorber

Информация об авторах

Гимадиев Марат Асгатович, кандидат технических наук, главный конструктор ООО НПП «Гималаи». E-mail: gma@gimalai.com. Область научных интересов: разработка и изготовление гидравлической и газовой арматуры технологического оборудования.

Гимадиев Асгат Гатьятович, доктор технических наук, профессор кафедры автоматических систем энергетических установок, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: gimadiev_ag@mail.ru. Область научных интересов: динамика пневмогидравлических и топливных систем энергетических установок.

Gimadiev Marat Asgatovich, doctor of technical science, the Gimalai Ltd., chief engineer. E-mail: gma@gimalai.com. Area of research: design and manufacture of hydraulic and gas production equipment.

Gimadiev Asgat Gatyatovich, professor, the department of automatic systems of power plants, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: gimadiev_ag@mail.ru. Area of research: dynamics of power plant pneumohydraulic and fuel systems.