

Устройство для снижения вибрации и шума в трубопроводных системах энергетических установок. Разработка и исследование

Чернов Н.С.¹, Мурановский В.П.^{2*}

¹ К.т.н., доцент, Тольяттинский государственный университет,
Самарская область, г. Тольятти, Белорусская, д. 14, РФ

² Начальник КБ, ООО Волжский машиностроительный завод (ВМЗ),
Самарская область, г. Тольятти, Северная ул., д. 111, РФ

Аннотация

Рассмотрены проблемы и пути снижения колебаний давления и вибрации в трубопроводных системах энергетических установок. Описаны теоретические основы виброгашения. Рассмотрена разработанная авторами конструкция устройства для снижения шума и вибрации в трубопроводных системах. Исследована и экспериментально проверена проблема снижения колебания давления и шума в сравнении с зарубежными аналогами, приведены показатели эффективности приведенного устройства. Применение разработанного и внедренного устройства для снижения колебаний давления в трубопроводных системах энергетических установок позволяет значительно снизить вибрацию, повысить эффективность, надежность и ресурс работы промышленного оборудования.

Ключевые слова: вибрация, шум, пульсации давления, трубопроводные системы, измерительные приборы.

Development and research of the device for reduction of vibration and noise in piping systems of power plants

Chernov N.S.¹, Muranovskiy V.P.²

¹*Candidate of technical Sciences, associate Professor, Togliatti State University, Togliatti, Russia*

²*Head of the design Bureau, OOO Volga Machine Works (VMW), Togliatti, Russia*

Abstract

In this article were researched the problems and ways for reducing the pressure of fluctuations and vibration in piping systems of power plants. Also in this paper were described the theoretical basics of vibration damping. We considered the design of device for reducing noise and vibration in piping systems, which were designed by authors. In this work were studied and experimentally verified the problem of reducing vibrations pressure and noise in comparison with foreign counterparts, were showed indicators of effectiveness of the device. This device allows reducing the vibration significantly, improving efficiency and reliability and life operation of industrial equipment.

Key words: *vibration, noise, pressure pulsations, pipeline systems, measuring instruments.*

Введение

Надежность работы энергетических установок (ЭУ) и технологического оборудования (ТО) в значительной степени зависит от динамических свойств трубопроводных систем [1].

Возникающие при работе ЭУ низкочастотные пульсации давления при подаче теплоносителя по трубопроводу, являются источником интенсивной вибрации и могут вызвать разрушение трубопроводов и агрегатов, выход из строя измерительных приборов, а также могут приводить к аварии с тяжелыми последствиями [2].

Вибрации и шум являются наиболее распространенными и неблагоприятными вредными факторами, возникающими при эксплуатации ЭУ и ТО. Вибрация

*E-mail: N.Chernov@tltsu.ru (Чернов Н.С.), V.P.Muranovskiy@vaz.ru (Мурановский В.П.)

технологического оборудования воздействует в первую очередь на операторов, обслуживающих это оборудование, и характеризуется сравнительно высокими уровнями.

Шум как физическое явление представляет собой волновое колебание частиц воздуха или упругое колебание рабочей среды (в гидропневмосистеме), его возникновение и распространение обусловлены физическими процессами.

Борьба с вибрацией и шумом является острой проблемой при проектировании и эксплуатации ЭУ и ТО.

Большое раздражающее воздействие на операторов оказывает не только механическая, но и акустическая вибрация (шум), обусловленная колебаниями рабочей среды в трубопроводных системах, инициированными отрывающимися вихрями или турбулентными пульсациями данной среды. Значение акустической частоты колебаний зависит от номера моды (формы колебаний): самая низкая частота характерна для первой моды, более высокая частота – для второй, третьей и т. д.

Кроме того, акустическая частота зависит от формы, геометрических размеров, а также скорости звука в ней, и может быть подсчитана по следующему соотношению:

$$f_a = m \cdot W_{зв} / 2d \quad (1)$$

где f_a – акустическая частота;

m – номер моды;

$W_{зв}$ – скорость звука в межтрубной жидкости, м/с;

d – внутренний диаметр трубы, м.

Причем экспериментальные исследования показывают: пока возбуждающие частоты лежат в пределах до 20 % акустической частоты, возникает **громкий шум и акустическая вибрация**, совпадающая с собственной резонансной частотой любого элемента гидропневмосистемы, как правило, разрушающее его.

Единственным средством борьбы с шумом и вибрациями трубопроводных систем – это устройства, устанавливаемые в соответствующие магистрали: они превращают турбулентный поток газа или жидкости в ламинарный, т.е. поток, частота и амплитуда колебаний которого равны или близки к нулю.

Конструкции устройств, применяемых в отечественной промышленности и за рубежом, могут быть самыми разными: их выполняют в виде простейших вставок с небольшими отверстиями; регулировочных винтов и т. д., способных перемещаться в отверстиях; витых спиралей; наборов шайб с отверстиями и выфрезированными канавками, образующими сложные пространственные изломанные каналы и т. п. Но все они снижают вибрации и шум не более чем на 15-20 дБА.

Рассматриваемая проблема особенно актуальна для отраслей промышленности, применяющих измерительные приборы (манометры) в трубопроводных системах энергетических установок и технологического оборудования.

Рабочая среда – теплоноситель – в трубопроводах энергетических установок имеет ряд особенностей: высокие температуры и температурные градиенты, значительные скорости потока, высокие давления. В наиболее узких сечениях скорость жидкого теплоносителя достигает 14 м/с, газообразного – 100-150 м/с, давление 16-25 Мпа, температура 300-400°С. Процессы в главных циркуляционных трубопроводах характеризуются значительными нестационарными расходами теплоносителя и интенсивными волновыми и вибрационными нагрузками.

Вибрации могут стать причиной усталостных разрушений трубопроводов, элементов энергетических установок, в результате которых нарушается проектная степень герметичности проточных трактов и появляются значительные течи

теплоносителя. Поэтому каждый случай появления вибрации трубопроводов требует квалифицированного анализа и принятия технического решения по стабилизации колебания давления в трубопроводе.

Основными источниками вибрации трубопроводов в большинстве случаев являются динамические нагрузки и пульсирующий поток теплоносителя.

1. Методы проведения исследований

Для исследования авторами была разработана новая конструкция дроссельного устройства. Внедрение комплекса мероприятий по виброшумоглушению начинается с установки дроссельных устройств в гидропневмосистемах эксплуатируемого и проектируемого оборудования. Выбор того или иного устройства определяется необходимым уровнем снижения шума, его спектром и другими условиями. В гидросистемах оборудования, работающего под высоким давлением, например, при подаче рабочей жидкости или сжатого газа под высоким давлением к измерительным приборам (манометрам), чтобы дроссельные устройства оказывали противодействие потоку рабочей жидкости.

Колебания давления в гидросистемах приводят к сильным вибрациям и перегрузкам всех передаточных элементов оборудования и измерительных звеньев. Подключение измерительных приборов к гидропневмосистеме через дроссельное устройство обеспечивает сужение поперечного сечения прохода, противодействует колебаниям давления в системе и сглаживает их, что исключает ошибочные показания измерительных приборов, предотвращает их выход из строя и снижает уровень шума.

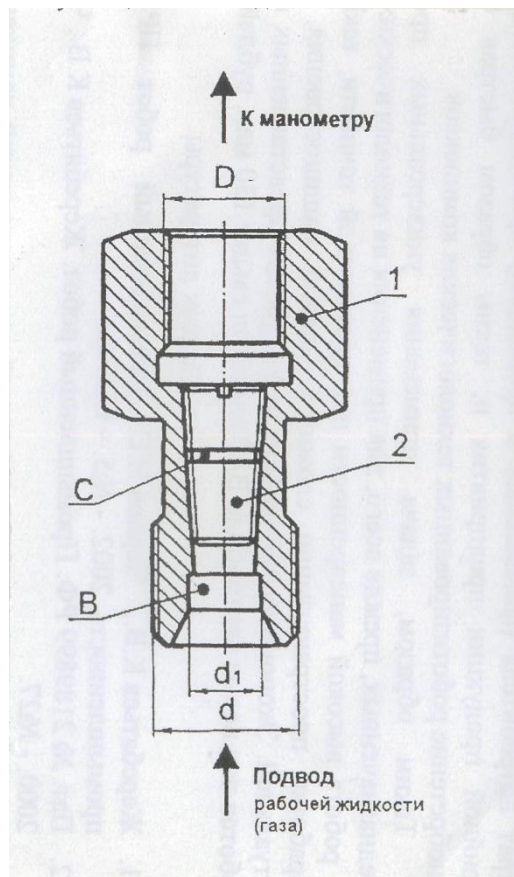


Рис. 1. Дроссельное устройство

1 – соединительный штуцер; 2 – резьбовая коническая вставка; В – полость для подачи рабочей среды; С – кольцевая канавка; D – подсоединительный размер к манометру; d – подсоединительный размер подвода рабочей среды; d₁ – условный проход.

Разработанная авторами конструкция дроссельного устройства показана на Рис. 1.

Дроссельное устройство состоит из соединительного штуцера 1 и плотно посаженной резьбовой вставки 2 в его коническое отверстие. Штуцер одним концом подсоединяется к измерительному прибору (манометру), а вторым к источнику давления [3].

Работает следующим образом.

Рабочая среда (жидкость или газ) под рабочим давлением подается к полости «В». Из этой полости она через винтовой проход резьбовой вставки попадает в кольцевую канавку «С», снова в винтовой проход и, на вход манометра. Благодаря такому переменному по гидравлическому сопротивлению пути пульсации, пики давления гасятся и тем самым снижаются резкие динамические нагрузки на механизмы ЭУ и ТО.

Отличием описываемого дроссельного устройства от традиционных является то, что дросселирование осуществляется путем изменения проходного сечения канала рабочей среды через винтовой проход резьбовой вставки. При этом значительно повышается эффективность дросселирования и **снижение уровня шума**.

Опытной проверкой разработанного дроссельного устройства установлено, что шаг резьбы вставки должен быть равен 0,5-0,75 мм, а угол конуса 1...3°.

Выполнение профиля резьбы с шагом 0,5-0,75 мм обеспечивает оптимальную развернутую длину винтового прохода для снижения и сглаживания пиков давления рабочей среды с высокой пульсацией.

Выполнение резьбовой вставки конусной с углом 1...3°, обеспечивает при сборке высокую герметичность за счет плотного прилегания плоскосрезанной вершины резьбы (0,2...0,4 мм) к конической поверхности соединительного штуцера и уменьшает утечки среды между соседними витками. Кроме того, при эксплуатации создается удобство разборки и сборки дросселя для промывки и очистки резьбовой вставки, тем самым обеспечивается надежность и ремонтпригодность устройства.

Кольцевая канавка «С» вставки гарантирует сочетание в ней ламинарного потока, образовавшегося в нижней части винтового прохода, с турбулентным, что повышает пропускную способность верхней части резьбы и скорость движения потока рабочей среды.

Рассматриваемый дроссель эффективен при давлении 0,4-40 МПа (4-400 кгс/см²). Диаметр его условного прохода составляет 4 мм, его эффект – снижение амплитуды колебаний давления на входе и выходе в 4-5 раз.

Таким образом, в рассматриваемом устройстве применено фактически ступенчатое дросселирование «резьба-канавка-резьба», которое выполняет задачу снижения вибраций и шума в 1,3-1,6 раза эффективнее (т. е. на 28-35 дБА), чем серийно выпускаемые дроссели, выпускаемые фирмами «WIKА» и «VDO-ОТА» (Германия).

Его технические характеристики:

- номинальное давление рабочей среды (жидкость, газ), МПа 40;
- диаметр условного прохода сечения, мм 4;
- снижение колебания давления на входе и выходе, раз 4...5;
- присоединительные размеры:

- к измерительным приборам (манометрам) (D) M12x1,5; M20x1,5;
- подвод среды к дросселю (d) M12x1,5; G1/4; G1/8
(Обозначения по ГОСТ 6357-81).

2. Результаты

Для сравнения эффективности разработанного дроссельного устройства с существующими аналогами, например, фирм «WIKА», «VDO-ОТА» (Германия) были проведены экспериментальные испытания на стендовом и действующем оборудовании. Результаты испытаний по эффективности сведены в Табл. 1.

Таблица 1

Показатели эффективности дросселей

Наименование фирм	Конструкция дросселя	А, дБА
«WIKА» (Германия)	Регулировочный винт $d=1,2$ мм	20,5
«VDO-ОТА» (Германия)	Витая спираль $l=25$ мм, $d=0,8-1$ мм	25,5
Разработка авторов	Коническая резьбовая вставка $l=25$ мм	32,5

Полученные результаты испытаний являются важными для оценки эффективности и эксплуатационной надежности применяемых конструкций дросселей в отраслях зарубежного и отечественного машиностроения.

Заключение

Разработанные дроссельные устройства обладают высокими акустическими и эксплуатационными характеристиками. Широко используются как для вновь практикуемого, так и при эксплуатации действующего технологического оборудования ВАЗа. А также, могут быть использованы в нефтяной и газовой промышленности.

Разработка и исследование направлены на отказ от закупки устройств по импорту.

Импортозамещение продуктов машиностроения. Экономический эффект от замены 1 единицы дроссельного устройства фирмы «WIKА» на отечественное составляет 400-450 руб. в зависимости от типа (в ценах на 01.12.2014г.).

Список литературы

1. Васильев А.В. Снижение вибрации и низкочастотного шума энергетических систем с использованием гасителей колебаний давления и активных компенсаторов / А.В. Васильев, А.И. Глейзер, Н.С. Чернов // Известия Самарского научного центра РАН. Специальный выпуск Т.11, №3 – Самара, 2009. – с. 327-328.

2. Шахматов Е.В. Возбуждение пульсаций давления в рабочей жидкости при вибрации трубопровода / Е.В. Шахматов, А.Б. Прокофьев, Т.Б. Миронова // Вестник СГАУ №2, Ч.2 Самара, 2006 – с. 161-164.

3. Патент 2117204 Российская федерация, МПК F 16K 47/06. Дроссельное устройство / Н.С. Чернов, В.П. Мурановский; заявитель и патентообладатель ОАО «АвтоВаз» – № 96112689/06., заявл. 25.06.96, опубл. 10.08.98, Бюл. № 22 – 4 с.: ил.