

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭВОЛЬВЕНТНЫХ ЗАВИХРИТЕЛЕЙ НА ВИБРАЦИЮ И ЭРОЗИЮ ТРУБОПРОВОДОВ С ДВУХФАЗНЫМ ПОТОКОМ

Храпов А.П., Гныра Д.В., Велькин В.И., Пахалуев В.М.

УрФУ

aes1@mail.ustu.ru

При движении жидкости с температурой, близкой к температуре насыщения, в достаточно длинных трубопроводах наблюдается испарение или резкое вскипание, если трубопровод содержит местные сопротивления. По мере роста паросодержания в трубопроводе могут возникать различные режимы течения, включая и снарядный, который является основным источником возбуждения вибраций трубопровода [1]. Кроме этого, значительную проблему представляет возникновение эрозии трубопроводов с двухфазными потоками.

В настоящее время существуют различные способы практической реализации снижения вибраций, одним из которых является установка закручивающих устройств (завихрителей). Они, обеспечивая сепарацию пара и воды, ведут к возникновению режима, близкого к кольцевому (в поворотном участке), тем самым способствуют снижению эрозии.

Для исследования влияния завихрителей пассивного типа с внутренней нарезкой на двухфазный поток был проведен ряд экспериментов, направленных на выяснение способности устройств снижать вибрацию трубопроводов и уменьшать эрозионное воздействие. Исследования проводились на экспериментальном стенде (рис. 1) [2]. В качестве исследуемых образцов использовались вставки завихрители с различным количеством эвольвентных нарезок (3, 6, 9 и 12).

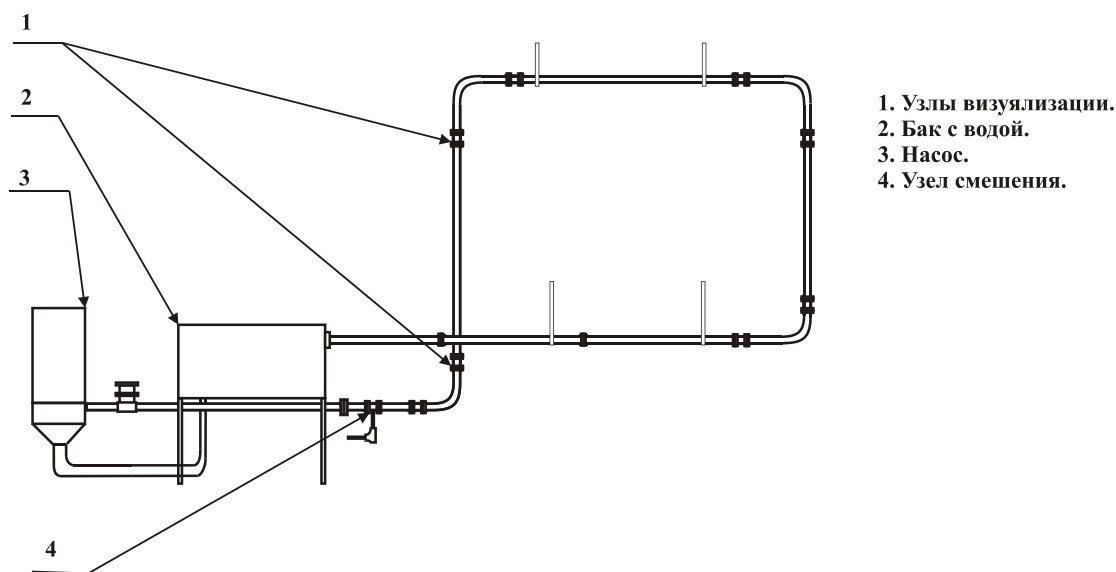


Рис. 1. Схема экспериментального стенда

Суть экспериментов заключалась в следующем: завихрители поочередно устанавливались на входе в поворотный участок трубопровода, в котором моделировался двухфазный поток. Изменяя объемные расходы воды и воздуха, создавались различные режимы течения газоздушного потока, характеризующиеся соответствующими расходными параметрами. Имеющееся оборудование позволяло определять расходное объемное газосодержание с учетом следующего соотношения.

$$\beta := \frac{v''}{v' + v''} \quad (1)$$

где v' ; v'' - объемные расходы жидкой и газовой фазы.

Значения параметра β позволяют оценить структуру потока и влияние конструкции завихрителя на мощность возникающих вибраций (виброускорение). Измерения проводились при $\beta=0$; 0,5; 0,667; 0,75, и значениях чисел $Re=2000$, 3000 и 4000.

Контрольные точки были расположены на выходе из поворота (т. 1) и посередине подъемного участка (т. 2).

Для определения частот, на которых возникают резонансы, виброанализатором СД-12М были сняты спектры при различных режимах двухфазного потока.

В спектрах, полученных на трубопроводе с гладкими стенками (без использования завихрителя), установлено, что максимальные значения виброскорости возникают на частотах 3,2 Гц, 5,25 Гц и 7,56 Гц.

При использовании вставок с 3 нарезками была наиболее выражена частота 5,25 Гц. Применение вставки с 12 нарезками смещало частоту возникновения пиков до 8,12 Гц. Вставка с завихрителем шнекового типа снижает частоту до 3,2 Гц.

Контрольные точки расположены на выходе из поворота трубопровода (т. 1) и посередине подъемного участка (т. 2). Ниже представлены фотографии завихрителей с канавками эвольвентного типа, которые использовались при проведении данной серии экспериментов.

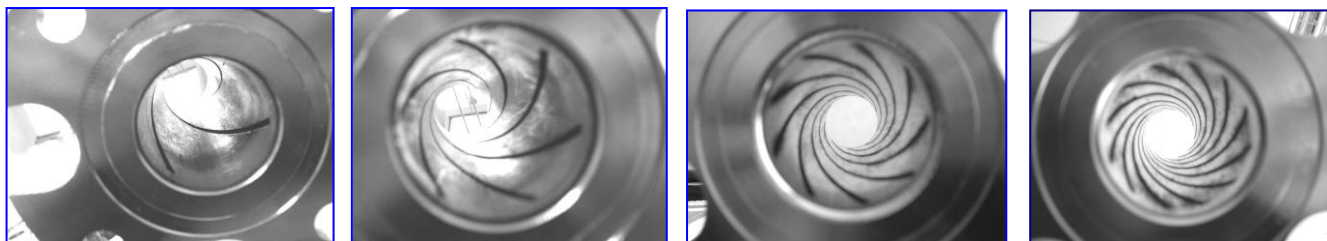


Рис. 2. Завихрители с эвольвентными канавками (3, 6, 9, 12) и углом закрутки 180°

При сравнении спектров, полученных с использованием вставок и спектров трубы с гладкими стенками, максимум значений виброскорости на участках возрастает практически на всех режимах. По полученным спектрам можно

сделать заключение о смещении резонансных частот, но не о величине изменения вибрации (виброперемещения).

Для того чтобы определить величину изменения вибрации, необходимо использовать измерения уровней среднеквадратических значений (СКЗ) виброперемещения и виброскорости [3].

Для определения СКЗ виброхарактеристик в приборе СД-12 задавалось количество измерений. В данном случае было выбрано 15 измерений (отсчетов). В качестве эталонных значений брались уровни СКЗ виброхарактеристик трубопровода при течении двухфазного потока в гладких трубах (без завихрителя). Приведенный ниже график (рис. 3) показывает относительные изменения уровней виброхарактеристик в сравнении с эталонными значениями.

Как видно из графика изменения виброхарактеристик, наибольшим эффектом на данном участке обладает завихритель с двенадцатью эвольвентными канавками, который снижает вибрацию почти на всех режимах. При анализе вибраций учитывалась возможность возникновения собственных колебаний трубопровода и арматуры воздухонагнетательной установки, связанных с резонансными явлениями, имеющих механическую и аэродинамическую природу. Подающий воду насос при работе периодически давал перебои, в результате чего расход колебался в значительном диапазоне, что соответствующим образом отражалось на точности результатов измерений.

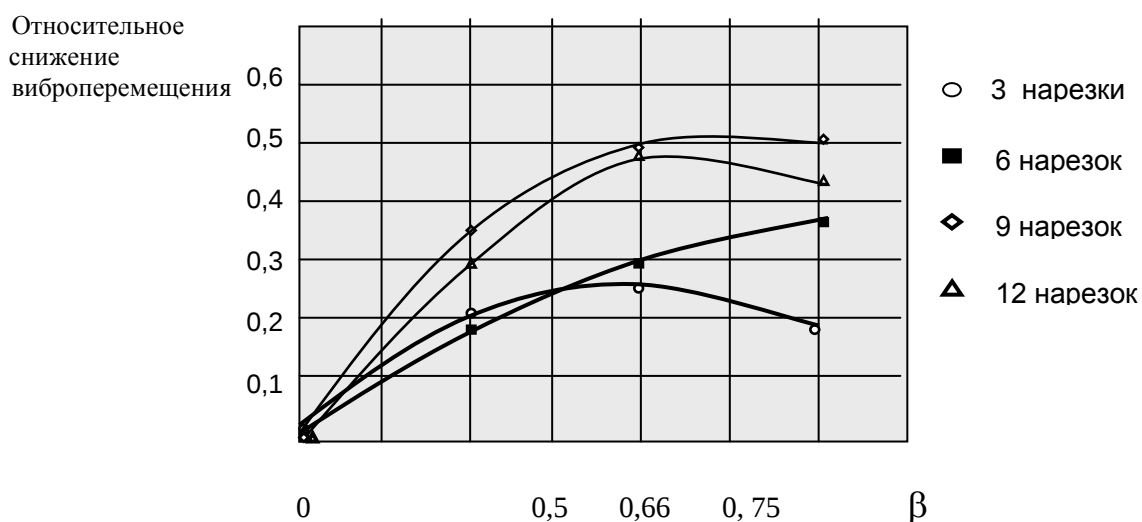


Рис. 3. Относительное снижение виброперемещения в точке 1 (выход из поворотного участка трубопровода) ($Re\ 4000$)

Таким образом, проведенные эксперименты показали эффективность предлагаемого метода снижения виброперемещения трубопроводов, транспортирующих двухфазный поток, до 25...50 %.

Применение завихрителей снижало виброперемещение при всех рассмотренных числах Рейнольдса и особенно выражено в области объемного газосодержания в диапазоне $0,5 > \beta > 0,8$.

Уместно предположить, что выравнивание градиента давления снижает не только вибрацию, но и эрозию в поворотном участке за счет более равномерного распределения жидкости по внутреннему диаметру трубопровода.

Библиографический список

1. Федорович Е.Д., Фокин Б.С., Аксельрод А.Ф. и др. Вибрации элементов оборудования ЯЭУ. М.: Энергоатомиздат, 1989. 168 с.
2. Велькин В.И., Щеклеин С.Е., Петров А.С., Немихин И.Ю. Стенд для исследований вибраций трубопроводов с двухфазным потоком // Энерго- и ресурсосбережение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Сборник материалов Всероссийской студенческой олимпиады, научно-практической конференции и выставки студентов, аспирантов и молодых ученых. Екатеринбург, УГТУ-УПИ, 2002.
3. Велькин В.И., Комоза Д.С., Крутиков А.Ю., Хныкина В.В. Микропроцессорный блок управления комплексным диагностическим стендом для исследований вибраций трубопроводов АЭС // Атомная энергия. 2009.

ВЫДЕЛЕНИЕ ПОСТОРОННИХ ПРИМЕСЕЙ ИЗ АМОРФНОГО ДИОКСИДА КРЕМНИЯ МЕТОДОМ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ

*Цывунина А.А., Пономарев В. Б.
УрФУ
amar@r66.ru*

Современная промышленность предъявляет высокие требования к исходным сырьевым материалам, актуальной задачей является получение порошков с минимальным содержанием «вредных» примесей. Обычно такая задача решается при помощи гидросепарации в тяжелых средах, а так же на вибростолах и магнитных сепараторах.

Цель исследования – определить возможность сухого обогащения порошков с применением менее затратной пневматической каскадной классификации. Для исследований выбран порошок аморфного диоксида кремния (истинная плотность $\rho_{\text{ч}} = 2700 \text{ кг/м}^3$), загрязненный посторонними примесями с плотностью $5000 - 8000 \text{ кг/м}^3$. Основные требования к готовому продукту: выход из исходного не менее 50 %, загрязнение посторонними зёрнами не более 0,5 %.

Опыты проводились в следующей последовательности. Исходный материал подавался в приемную точку воздушного поликаскадного классификатора, скорость воздушного потока в котором составляла 3,48 м/с. В результате фракционирования получался крупный продукт, обогащенный зёрнами примеси (загрязненный) и мелкий материал. Крупный продукт помещался в емкость для последующих анализов, а мелкий – сразу рассеивался на сите с размером 400 мкм. Надрешетный (очищенный) продукт отправлялся на анализ, подрешетный – на воздушную классификацию. Следующие этапы проводились аналогично, скоростные режимы и размеры сит указаны на рисунке.