

ратуры во фронте пламени, а значит и скорости химических реакций. Данный механизм схож с процессом снижения скорости распространения пламени и его погасанием при чрезмерно высокой интенсивности турбулентности [7].

Таким образом, пульсационная скорость влияет на концентрацию углерода и скорость химических реакций во фронте пламени, соотношение которых и определит значение ионного тока, т.е. показания ИД.

Данная работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере, договор № 0010547, а также в рамках государственного заказа, проект № 394.

Библиографический список

1. Семенов Е.С., Соколик А.С. Термическая и химическая ионизация пламени // Физика горения и взрыва. 1970. № 5. С. 37-48.

2. Аравин Г.С., Семёнов Е.С. О связи между скоростями химической ионизации и реакции горения в ламинарном пламени //

Физика горения и взрыва. 1979. № 5. С. 40-46.

3. Шайкин А.П., Будаев С.И., Галиев И.Р. О взаимосвязи концентрации углерода в топливе и характеристик распространения пламени с величиной ионного тока // Вестник Самарского государственного аэрокосмического университета. 2015. №4. С. 156-163.

4. Богословский В.П., Зайчиков В.В., Самойлов И.Б. О зондовых измерениях ионизации в пламени // Физика горения и взрыва. 1974. №3. С. 705-710.

5. VanDyne E.A., Burcmyer C.L., Wahl A.M., Funaioli A.E. Misfire Detection from Ionization Feedback Utilizing the Smartfire Plasma Ignition Tecnology // SAE 2000-01-1377.

6. Heywood J. B. Internal combustion engine fundamentals. New York : McGraw-Hill, 1988. 931 p.

7. Варнатц Ю., Маас У., Диббл Р. Горение. Физические и химические аспекты, моделирование, эксперименты, образование загрязняющих веществ. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. 352 с.

УДК: 621.444.4

ПРИЧИНЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОЛЕБАНИЙ СИЛЬФОННЫХ КОМПЕНСАТОРОВ И АНАЛИЗ ИХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

©2016 А.Н. Мурзин, А.А. Кузнецов

Публичное акционерное общество «Кузнецов», г. Самара

REASONS OF VIBRATIONS IN EXPANSIONS JOINTS AND ANALYSIS OF FREQUENCY CHARACTERISTICS

Murzin A.N., Kuznetcov A.A. (PJSC «KUZNETCOV», Samara, Russian Federation)

The article describes various types and sources of flexible metal hoses (FMH) vibrations. Depending on the direction of vibration displacements, basic variations of sleeves vibrations has been identified: transversal, longitudinal and torsion. The distinguished forces, which excite vibrations in FMH, acting on it, has been divided into static and dynamic loads. The most common type of vibrations - transverse vibrations of flexible sleeves has been considered in more details. Also have been investigated ripples - one of the main triggers of transverse vibrations, which significantly degrade the hydraulic performance of pipeline communications. The paper presents the analysis of the characteristics of the bending and longitudinal stiffness, which implies that the stiffness increases with growing internal pressure, the diameter of the sleeve and the number of braids. To determine the frequency characteristics of FMHs, the bar, with reduced parameters of elasticity and mass, has been chosen as FMH mathematical model, also have been studied results of A. I. Kryukov researches of the influence of various factors on the of metal sleeves own frequencies.

Гибкие коммуникации подвергаются сложным статическим и динамическим нагрузкам. К первым относятся усилия, возникающие при компенсации монтажных и температурных перемещений, а также от воз-

действия внутреннего давления. Ко вторым относятся периодические усилия, воздействующие на рукав через узлы подсоединения к вибрирующим частям механизмов (механическое возбуждение) или возникающие

при протекании по трубопроводу рабочей жидкости (гидравлическое возбуждение). В зависимости от направления вибрационных смещений различают поперечные, продольные и крутильные колебания.

Самыми распространёнными причинами поперечных колебаний в гибких металлических рукавах (ГМР) являются кинематическое возбуждение его опор (места подкрепления, стыки с трубопроводной арматурой) и пульсации. Как правило, пульсации давления возникают из-за прерывистого цикла нагнетания жидкости насосами, гидравлических ударов или неполного заполнения рабочих объёмов при кавитационном режиме на линии нагнетания. Но даже в стационарном состоянии при протекании рабочей среды в ГМР можно получить неприятный эффект. Протекающая по рукаву жидкость испытывает периодические расширения и сжатия, обусловленные волнистостью проточной части. Известно, что частота возникающих пульсаций растёт с увеличением скорости протекания жидкости и с уменьшением шага гофров [1], что при определённых условиях может привести к появлению продольного резонанса и значительно уменьшить ресурс ГМР. Для исключения данного явления необходимо ограничивать скорость течения транспортируемой среды в рукаве: для жидкости – не более 10 м/с, для двухфазной среды – не более 30 м/с, для газа – не более 50 м/с.

Продольные силы в ГМР могут возникать от вибрации механизма, а также при удлинении оси рукава в процессе его поперечных колебаний с несмещающимися опорами. В последнем случае, при отклонении трубопроводов в крайнее положение его ось удлиняется и в результате этого появляются продольные силы. За время одного цикла поперечного смещения возникающая сила дважды достигает своего максимального значения. Следовательно, частота продольных силовых импульсов оказывается в два раза больше частоты поперечных смещений рукава. При совпадении с собственной частотой рукава может возникнуть поперечный резонанс системы.

Крутильные колебания в ГМР имеют место при пространственном расположении трубопроводов с криволинейными очертани-

ем колен. В рукавах со спиральной гофрированной оболочкой крутильные колебания могут возникать от рассмотренных выше периодических осевых усилий, вызывающих удлинение и сжатие оси рукава.

Для анализа частотных характеристик за математическую модель ГМР примем стержень со строительной длиной, равной длине гибкой части рукава, который работает в условиях осевых нагрузок и обладает некоторой жёсткостью в продольном направлении и жёсткостью при изгибе. В общем случае моделируемая система характеризуется: влиянием упругих свойств рукава на его динамические характеристики; инерцию поступательного смещения рукава по его оси и инерцию поворота сечения рукава при колебаниях; влиянием на динамику рукава осевых сил стационарного характера, возникающих в результате продольной деформации рукава при монтаже или от внутреннего давления жидкости; влиянием переменных продольных сил, возникающих при удлинении оси рукава в процессе его поперечных колебаний. Определить частоту собственных колебаний рукава можно, применив различные граничные условия для моделируемой системы, например, для случая колебаний при отсутствии осевых усилий и малых амплитуд смещений допустимо не учитывать инерцию поворота сечения и удлинение оси.

Так как гибкие коммуникации представляют собой податливую систему, то их характеристики могут меняться при изменении условий эксплуатации. При анализе влияния различных факторов [2] на собственную частоту колебаний было установлено:

- 1) с увеличением внутреннего давления в рукаве частота его колебаний также увеличивается, причём наибольший градиент роста частоты присутствует при малых значениях давления;

- 2) С увеличением скорости движения рабочей среды частота собственных колебаний рукавов уменьшается;

- 3) радиус изгиба рукава при колебаниях, происходящих в направлении, перпендикулярном плоскости изгиба, значительно снижает его собственную частоту по сравнению с частотой колебания прямого металлического рукава;

4) с уменьшением длины гибкой части и увеличением внутреннего диаметра частота собственных колебаний металлического рукава повышается.

5) при увеличении перегрузки резонансная амплитуда увеличивается, а собственная частота уменьшается.

Библиографический список

1. Кривошеева С.Я. Методики расчёта околорезонансных колебаний гофрированных оболочек трубопроводов ГПА: Дис. канд. техн. наук. Тюмень, 2007. 134 с.

2. Крюков А.И., Глинкин И.М., Фионин В.И. Гибкие металлические рукава. М.: Машиностроение, 1970. 204 с.

УДК 621.793

СВОЙСТВА ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ДИОКСИДА ЦИРКОНИЯ, ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МЕТОДАМИ

©2016 Ю.П. Тарасенко, О.Б. Бердник, И.Н. Царёва

Институт проблем машиностроения РАН - филиал Федерального исследовательского центра «Институт прикладной физики Российской академии наук», Научно-производственный центр «Трибоника», г. Нижний Новгород

HEAT-SHIELDING ZIRCONIA COATING OBTAINED BY DIFFERENT METHODS

Tarasenko Y. P., Berdnik O. B., Tsareva I.N. (Institute of problems of mechanical engineering sciences branch of federal State budgetary scientific institution Federal Research Centre Institute of applied physics of the Russian Academy of Sciences. Research and production center "Tribonika", Nizhny Novgorod, Russian Federation)

This paper presents the results of research of structure, phase composition and operational properties of thermal barrier ceramic coatings obtained by the methods of electron beam and plasma powder spraying.

Традиционными методами нанесения теплозащитных покрытий являются вакуумное электронно-лучевое напыление и плазменное порошковое напыление. С точки зрения эксплуатационных свойств покрытий наиболее зарекомендовал себя электронно-лучевой метод, позволяющий получать малопористые покрытия разного состава. Однако возможности данного метода ограничены размерами вакуумной камеры.

На сегодняшний день уровень техники в области газотермического напыления насыщен разными способами нанесения покрытий: детонационное напыление, высокоскоростное напыление, плазменное порошковое напыление, газодинамическое напыление, высокочастотное напыление.

Среди методов газотермического нанесения плазменное порошковое напыление на воздухе по показателям «температура-скорость» занимает второе место после плазменного напыления в динамическом вакууме. Он основан на использовании тепловой и кинетической энергии плазменной струи, генерируемой плазмотроном. Однако эксплуатационная практика свидетельствует

о недостаточно высоких показателях жаростойкости и теплозащиты покрытий, формируемых методом традиционного плазменного напыления при использовании стандартного оборудования.

Для создания теплозащитного покрытия ZrO_2 с улучшенными эксплуатационными свойствами в НПЦ «Трибоника» была модифицирована технология плазменного порошкового напыления посредством использования плазмотрона (мощностью 50-70 кВт) усовершенствованной конструкции за счёт введения секционированной вставки и кольцевой схемы ввода порошковой смеси. Модернизация плазмотрона позволила стабилизировать ток дуги и повысить энергетические характеристики плазменного потока ($V_{\text{частиц}}=325\text{ м/с}$, $T = 6500\dots 7000\text{ К}$). Процессы сверхбыстрой рекристаллизации (время затвердевания частиц $10^{-5}-10^{-7}\text{ с}$), сопровождающие напыление, приводят к фиксации метастабильных структурных состояний формируемого материала покрытия.

Объектами исследований в данной работе являлись теплозащитные покрытия, нанесенные на рабочие лопатки турбин, изго-