топлив должны создаваться на новой технологической основе с учетом новейших достижений нефтеперерабатывающей, химической, металлургической промышленности и теплоэнергетики.

Так же при проектировании и создании предприятий по производству синтетических жидких топлив необходимо учитывать тот факт, что с каждым годом неуклонно снижается качество минерально-сырьевой базы. Возрастает зольность добываемых углей, увеличивается содержание серы и ряд других параметров негативно влияющих на процессы ожижения твердых топлив. В России наиболее перспективными районами по строительству предприятий по производству СЖТ с точки зрения обеспеченности качественными запасами сырья на сегодняшний день являются Кузнецкий и Южно-Якутский угольные бассейны.

1. Макаров Г.Н. Химическая технология твердых горючих ископаемых / Г.Н. Макаров, Г.Д. Харлампович. – М.: Химия, 1986. – 496 с.
2. Авдохин В.М. Обогащение углей: учебник для вузов в 2 т. / В.М. Авдохин. – М.: Горная книга, 2012. – Т.2. Технологии. – 474 с.
3. Глубокая переработка бурых углей с получением жидких топлив и углеродных материалов / Б.Н. Кузнецов, Т.Г. Шендрик, М.Л. Щипко и др. – Новосибирск: Издательство СО РАН, 2012. – 212 с.
4. Уголь мира /ред. Л.А. Пучков. – М.: Горная книга, 2013. – Т. 3. Уголь Евразии. – 752 с.
5. Большой энциклопедический словарь/ ред. А.М. Прохоров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Норинт, 2004. – 1456 с.
6. Лазченко К.Н. Геотехнологические способы разработки месторождений полезных ископаемых: учебное пособие для вузов / К.Н. Лазченко, Б.Д. Терентьев. - М.: Изд-во МГТУ, 2007. – 75 с.
7. Тонких А.И. Оценка социально-экономической эффективности реализации концепции повышения конкурентоспособности угольной промышленности Дальневосточного экономического региона / А.И. Тонких // Технологии освоения углеводородного и минерального сырья. Отдельные статьи: Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2015.– № 11 (специальный выпуск 53). – С. 13-19.

Мурзин А.Н.

Применение опытных образцов термостойких демпферов из материала МР в опорах трубопроводов газотурбинных двигателей

*ПАО «Кузнецов»
(Россия, Самара)*

doi: 10.18411/lj-25-12-2017-09

idsp: 000001:lj-25-12-2017-09

Аннотация

В работе рассмотрен опыт эксплуатации термостойкого пластинчатого демпфера, применяемого в обвязке газотурбинных двигателей. Показана конструкция альтернативного упругодемпфирующего элемента из материала МР с характеристиками жёсткости, близкими к пластинчатому демпферу. Проанализированы результаты практического применения демпферов из материала МР в составе газотурбинных двигателей, выделены их преимущества и недостатки.

Ключевые слова: материал МР, демпфер, опора трубопровода

На трубопроводы газотурбинных двигателей воздействует широкий спектр статических и динамических нагрузок. К статическим относятся усилия, возникающие при компенсации монтажных и температурных перемещений, а также от воздействия давления жидкости или газа. Динамическими являются периодические усилия, воздействующие на магистрали через узлы подсоединения к вибрирующим частям механизмов (механическое возбуждение) или возникающие при протекании по трассе пульсирующей рабочей жидкости (гидравлическое возбуждение). В зависимости от направления вибрационных смещений различают поперечные, продольные и крутильные

колебания трубопроводов, энергию которых необходимо рассеивать. Поэтому, для обеспечения безотказной работы трубопроводов, совершенствование конструкции опорных демпфирующих элементов является важной задачей.

Для демпфирования колебаний трубопроводов газотурбинных двигателей в условиях высоких температур (свыше 180°C) возникает необходимость применять опоры с термостойкими демпферами. Одним из вариантов таких демпфирующих элементов является пластинчатый демпфер. Он состоит из набора чередующихся колец и профилированных лент (шестигранной формы), установленных на втулки. Втулки имеют бурты, предназначенные для исключения выпадения входящих деталей из демпфера. За счёт режимов термообработки лент и колец и их комбинации между собой в сборе получается заданная жесткость термостойкого демпфирующего элемента.

Опыт эксплуатации пластинчатых термостойких демпферов в опорах трубопроводов газотурбинных установок (ГТУ) семейства «НК» (НК-36СТ, НК-37, НК-361) показал их высокую надежность, ремонтпригодность, но также и ряд недостатков:

- значительные износы поверхности трубопроводов в местах установки опор (как следствие установки демпфера с повышенным перекосом) при больших наработках;
- большое количество (2 втулки, 5 колец, 4 ленты) входящих в демпфер деталей;
- высокая трудоёмкость изготовления демпфера;
- затруднён контроль качества (например, заданной твердости после термообработки и пружинных свойств) изготовления колец и лент;
- сложность монтажа (демонтажа) демпфера на трубопровод.

Для устранения этих недостатков опытной научно-исследовательской лабораторией №1 Самарского университета (ОНИЛ-1 СГАУ) был спроектирован упругодемпфирующий элемент (см. рисунок 1) из материала МР (проволока ЭИ-708А-ВИ) с типоразмерами, обеспечивающими его взаимозаменяемость с пластинчатым демпфером при установке в одинаковый корпус опоры.

Рисунок 1 – Демпфирующий элемент из материала МР

Материал МР обладает широким спектром регулирования упругих и демпфирующих свойств [1]. Варьируя плотностью материала МР в заготовке, диаметром спирали и диаметром проволоки можно менять жесткость опоры и её демпфирующие свойства в широком диапазоне. В разработанной конструкции была использована заготовка в виде комбинации невытянутых и вытянутых проволочных спиралей. Благодаря этому удалось реализовать жесткость упругодемпфирующего элемента такую же, как у пластинчатого демпфера.

Для оценки работоспособности демпфера из материала МР была проведена их установка в обвязку внутреннего контура ГТУ НК-37 № РЭ-201 и №РЭ-202 мощностью по 25 МВт в штатные колодки (см. рисунок 2) на трубопровод наддува лабиринтов турбины. Отбор воздуха осуществляется из ступени компрессора высокого давления где температура воздуха больше 300°C , а сама опора монтируется на стык корпусов камеры сгорания, температура которых еще выше. В настоящий момент данные двигатели находятся в эксплуатации.

Рисунок 2 – демпфер из материала МР в опоре воздухопровода

Внешнее состояние воздухопроводов и опытных образцов опор с термостойкими демпферами после первого этапа ресурсных испытаний (наработка в составе двигателя около 3000 часов) изображено на рисунке 3.

Рисунок 3 – Внешнее состояние воздухопроводов и демпферов

Осмотр состояния поверхности воздухопроводов выявил незначительные следы контакта в местах установки опор, которые устраняются полировкой. На медных прокладках, демпферах из материала МР и корпусах опор отмечено появление цветов побежалости, что не влияет на их работоспособность.

Анализируя промежуточные результаты эксплуатации опытных образцов термостойких демпферов из материала МР в составе ГТУ можно выделить следующие преимущества (по сравнению с пластинчатыми):

- 1) номенклатура входящих деталей уменьшилась более чем в 5 раз;
- 2) после наработки 3000 часов выработок материала на поверхности трубопроводов не обнаружено;
- 3) номинал величины монтажных неточностей (перекосы, несоосности), которую может скомпенсировать демпфер из материала МР, увеличился в 2 раза;
- 4) Снизилась трудоёмкость демонтажа демпфирующего элемента с трубопровода.

Из существенных недостатков опоры с демпфером из материала МР стоит выделить сложность монтажа, особенно, в труднодоступных местах или в случае сборки составного элемента крепления (несколько трубопроводов подкрепляются в одном элементе).

Экспериментальное применение опытных образцов термостойких демпферов из материала МР (разработки ОНИЛ-1 СГАУ) в составе ГТУ подтвердило их работоспособность и эффективность, а также показало необходимость в дальнейшем исследовании данной темы.

1. Лазуткин Г.В. Динамика виброзащитных систем с конструкционным демпфированием и разработка виброизоляторов из проволочного материала МР. Самара: СамГУПС, 2010. 291 с.