

О МЕХАНИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ И РАДИАЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В настоящее время с целью повышения эффективности электрохимической защиты (ЭХЗ) трубопроводов широко применяются электроизолирующие соединения (ЭИС). Они устанавливаются для уменьшения рассеивания защитного тока ЭХЗ, ограничения вредного влияния блуждающих токов на подземные сооружения, устранения возможности искрообразования при вводе трубопровода во взрывоопасные помещения. В ОАО «Татнефть» находятся в эксплуатации свыше 25 тыс. ЭИС различных конструкций и заводов-изготовителей. Опыт показывает, что основными параметрами эксплуатационной надежности ЭИС являются коррозионная стойкость, механическая прочность и герметичность.

Многие компании, использующие систему ЭХЗ трубопроводов, уделяют особое внимание надежности применяемых ЭИС.

Конструкции применяемых ЭИС условно можно разделить на два типа: разъемные и неразъемные. Разъемные конструкции являются фланцевыми или резьбовыми соединениями. К недостаткам разъемных ЭИС относятся: ограничение по месту монтажа (запрет на подземную прокладку), необходимость обслуживания в процессе эксплуатации (подтяжка резьбовых элементов, замена прокладок и т.д.), сложность обеспечения герметичности соединения при использовании на нефтепромысловых трубопроводах с рабочим давлением 10 МПа и выше. Неразъемные конструкции ЭИС не имеют перечисленных недостатков. Известна неразъемная конструкция ЭИС, в которой электрически изолируемые патрубки соединяются между собой муфтой методом радиальной деформации. Необходимым условием надежности такого соединения является обеспечение достаточной прочности при его эксплуатации. Произведем анализ механической прочности соединения.

При выборе толщины соединительной муфты, равной толщине патрубка, очевидно, что механическая прочность ЭИС в радиальном направлении на длине муфты будет иметь завышенный запас прочности вследствие удвоения толщины стенок конструкции. Необходимая прочность соединения в осевом направлении обеспечивается за счет контактного давления при остаточной деформации радиально-деформированных (РД) участков патрубков и муфты.

Максимальное значение осевой нагрузки на ЭИС, создаваемой внутренним рабочим давлением трубопровода, достигается при его статическом режиме. Коэффициент запаса прочности должен учитывать запас прочности для осевой нагрузки, создаваемой как рабочим давлением трубопровода, так и действующими на ЭИС внешними нагрузками (подвижки грунта, температурные расширения и т.д.). Осевые нагрузки могут возникнуть в процессе эксплуатации. Для оценки механической прочности ЭИС в осевом направлении необходимо рассчитать нагрузки, которые способны выдержать соединение. Разрушение ЭИС под действием осевой нагрузки происходит за

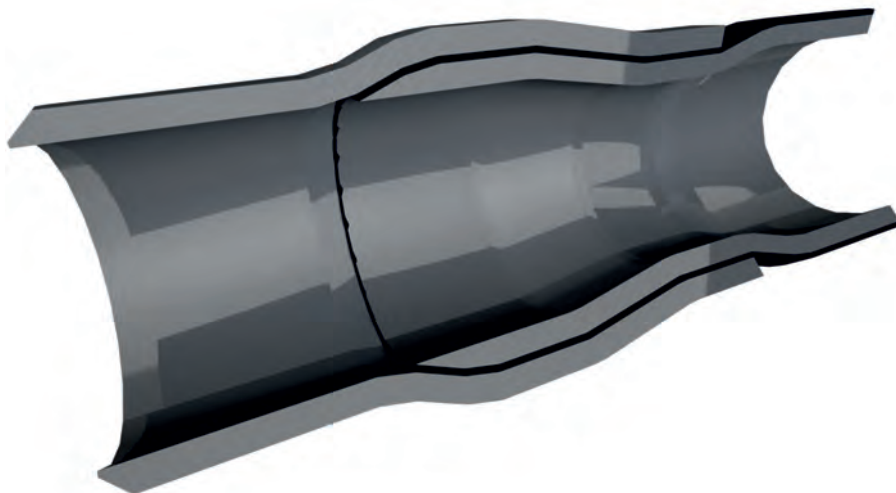
счет пластической деформации внешнего конца муфты расширенным участком патрубка. Учитывая наличие жидкости в полости соединения под испытательным давлением и ее незначительную сжимаемость, возможными деформациями патрубка в процессе осевого разрушения можно пренебречь. Тогда процесс разрушения ЭИС подобен процессу раздачи цилиндрической заготовки конической оправкой. Цилиндрической заготовкой в данном случае является муфта, роль конической оправки выполняет расширенная часть патрубка. Существует несколько математических моделей по определению усилия раздачи цилиндрических заготовок, в основе которых лежит совместное решение уравнений равновесия и пластичности при плоском напряженном состоянии материала. Математическая модель Ю.А. Аверкиева показала наибольшую согласованность результатов расчетов с практическими данными. Таким образом, разрушающая нагрузка зависит от материала муфты, ее толщины стенки, угла деформации, коэффициента трения между электроизолирующей прокладкой и материалом муфты,

соотношения наружного диаметра муфты в ее деформированной части к внутреннему диаметру муфты вне зоны деформации. Угол деформации известных конструкций составляет не более 60, т.к. увеличение его значения усложняет процесс сборки соединения. В качестве электроизолирующей прокладки чаще применяют стеклопластик.

С одной стороны, материал муфты и патрубков должен обладать достаточными пластическими свойствами, чтобы обеспечить сборку соединения без разрушения. С другой – материал должен иметь высокое значение предела прочности. Данные требования подтверждаются формулой Аверкиева. Кроме того, материал должен иметь приемлемую стоимость. Всем этим требованиям отвечает сталь 20, широко используемая в нефтепромысловых трубопроводах. Нормативно-техническая документация на трубы регламентирует допустимое увеличение их наружного диаметра конической оправкой в пределах 5–6% (при толщине стенки свыше 4 мм).

Расчеты показывают, что при допустимой деформации патрубков и муфты (6%) ЭИС способно выдержать осевую нагрузку при рабочем давлении не более 4 МПа с коэффициентом запаса прочности 1,1–2,5. При этом низкие значения коэффициента прочности относятся к ЭИС малых диаметров.

Для повышения механической прочности ЭИС в осевом направлении при сохранении допустимого значения РД составных деталей предлагается два технических решения, реализованных в конструкции механических ЭИС для трубопроводов (МЭСТ). Первое техническое решение заключается в увеличении числа РД-участков патрубка и муфты. Каждый патрубок имеет по два таких участка. Осевая разрушающая нагрузка соединения в данном случае должна составлять сумму осевых разрушающих нагрузок для каж-



дого РД-участка. Однако, как показывают исследования, реальные разрушающие усилия несколько ниже алгебраической суммы теоретически рассчитанных значений осевых нагрузок из-за неравномерного распределения напряжений по РД-участкам. Кроме того, реализация данного технического решения приводит к увеличению длины соединения, что часто вызывает сложности при монтаже.

Второе техническое решение заключается в повышении деформации деталей соединения в пределах допустимых значений. РД-участок ЭИС в данном случае формируется как за счет совместной раздачи патрубка и муфты, так и за счет обжатия концов муфты с прилегающими участками патрубков. Суммарный коэффициент РД увеличивает механическую прочность ЭИС в осевом направлении без опасности разрушения РД-участков в процессе изготовления. Метод увеличения числа РД-участков патрубка и муфты применен в конструкции МЭСТ для трубопроводов с рабочим давлением до 4 МПа с целью повышения коэффициента запаса прочности. При разработке конструкции МЭСТ для трубопроводов с рабочим давлением до 21 МПа применены оба метода увеличения осевой прочности соединения в зависимости от диаметра, толщины стенки и материала электроизолирующей прокладки.

Таким образом, обеспечение эксплуатационной надежности ЭИС является актуальной задачей при электрохимической защите нефтепромысловых трубопроводов. Разработана методика расчета механической прочности в осевом направлении для ЭИС, полученных методом РД его конструктивных элементов. Предложены технические решения повышения механической прочности в осевом направлении при сохранении допустимого значения РД. Теоретические расчеты подтверждены результатами стендовых и промышленных испытаний. Серийное производство ЭИС типа МЭСТ освоено в УК ООО «ТМС групп». В ОАО «Татнефть» конструкция МЭСТ успешно эксплуатируется с 2007 г. как на нефтепроводах системы нефтесбора с рабочим давлением до 4 МПа, так и на водоводах системы ППД с рабочим давлением до 21 МПа.



УК ООО «ТМС групп»
423450, Республика Татарстан,
г. Альметьевск, ул. Герцена, д. 1д
Тел.: +7 (8553) 30-04-42, 31-19-96
e-mail: tmcg@tmcg.ru
www.tmc-grupp.ru