

## АКУСТИКО-ЭМИССИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ТРУБОПРОВОДНОЙ МОДЕЛИ ПРИ ЦИКЛИЧЕСКОМ И СТАТИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

Асп. К. Е. НАГИНАЕВ, д-р физ.-мат. наук, проф. В. Н. САВЕЛЬЕВ

*Приведены результаты исследования циклического и статического нагружений модели трубопроводной системы, состоящей из труб, применяемых на автомобильных газонаполнительных компрессорных станциях (АГНКС) различных типов отечественного и импортного производства. Трубы сварены последовательно между собой в единую плетть и имеют в сварных швах искусственно заложенные дефекты. Циклическое нагружение системы моделировалось по количеству циклов и перепадам нагрузки весь срок службы газопроводов АГНКС, при статическом нагружении нагрузка поднималась ступенчато до разрушения трубопроводной системы. При испытаниях трубопроводной системы регистрировались сигналы акустической эмиссии. Результаты исследования показали, что выявление и процесс развития дефектов вплоть до макроразрушения надежно регистрируются методом акустической эмиссии. Развитие дефектов состоит из двух стадий: первой, когда дефект развивается квазистационарно, и второй, имеющей ускоренный характер.*

*In a paper results of research cyclic and static weighting in a model of pipeline system consisting of pipes applied on automobile gas-filling compressor stations (AGFCS) of various types (domestic and import manufactured) are examined. Pipes are welded sequentially among themselves in a uniform lash and have artificial imperfections in joint welds. Cyclic weighting systems modeled on amount of cycles and loading overfalls all life expectancy of gas conduits AGFCS, at static weighting loading rose in steps before destruction of pipeline system. At trials of pipeline system signals of acoustic issue were registered. Results of research have displayed, that detection and development of imperfections up to macro destruction are safely registered by a method of acoustic issue. Development of imperfections consists of two stages - the first when imperfection is explicated quasistationary, and the second, having the accelerated character.*

Обеспечение безопасной эксплуатации производственных объектов связано с определением их реального технического состояния и выявлением развивающихся при эксплуатационных нагрузках дефектов типа трещин. Наиболее достоверную информацию о развитии (степени опасности) дефектов в металле узлов и деталей технологического оборудования дает метод акустической эмиссии (АЭ), поскольку даже наличие крупных дефектов, «заложенных» при изготовлении или монтаже оборудования, не является в общем случае основанием для выбраковки изделий после их эксплуатации в течение длительного срока (зачастую более 20—30 лет). Поэтому задача исследования (выявления и оценки степени опасности различных дефектов) актуальна не только с научной, но и с технической точки зрения.

Наличие и оценка влияния реальных дефектов изготовления и монтажа трубопроводных систем моделировались искусственно созданными концентраторами в сварных швах трубных образцов. Исследовалась модель трубопроводной системы, состоящей из шести труб, сваренных последовательно между собой, при циклическом и статическом нагружении в сопровождении акустико-эмиссионного контроля (АЭК).

Первые три трубы имели внешний диаметр 0,068 м и толщину 0,012 м, следующие три трубы были приварены через переходник внешним диаметром 0,025 м и толщиной 0,005 м. Все 6 труб и переходник были изготовлены из стали 20. Каждая из 6 труб представляла собой образец длиной 0,5 м со сварным швом на середине длины (в каждый шов искусст-



венно заложены дефекты с коэффициентами концентрации напряжений от 2 до 8 [1]). Трубы данного типа являются основными для газопроводов автомобильных газонаполнительных компрессорных станций (АГНКС) (производство различных стран), эксплуатирующихся в России и странах СНГ. Кроме того, из таких труб производятся трубные пучки различного теплообменного оборудования, эксплуатирующегося в ОАО «Газпром»: испарителей, теплообменников, аппаратов воздушного охлаждения газа и др.

При заправке автомобиля газом на АГНКС происходит резкий подъем давления от 0 до 25 МПа, затем кратковременная «выдержка» на указанном давлении (подача газа в баллоны автомобиля) и, наконец, сброс давления до нуля. Весь данный цикл занимает менее одной секунды. При реальной средней частоте заправок на одной колонке порядка 10...12 автомобилей в сутки и учитывая заводской срок службы оборудования и газопроводов АГНКС, равный 24 годам, получим около 100000 циклов заправки для одной трубопроводной системы за весь срок службы АГНКС.

Для регистрации сигналов акустической эмиссии при испытаниях использовалась восьмиканальная акустико-эмиссионная система диагностирования в комплекте с персональным компьютером. Измерялись амплитуда, длительность, время нарастания огибающей, число выбросов, время прихода с начала испытания сигнала АЭ, разность времени прихода на каналы для расчета координат событий АЭ, а также давление, которое фиксировалось датчиком нагрузки. Степень опасности дефектов (трещин) оценивалась по сигналам АЭ, как источников АЭ. Источники акустической эмиссии при циклах изменения давления классифицировались на основе [2, 3]. Основой для выделения активного источника АЭ служит повышение активности АЭ (число сигналов в единицу времени) и средней амплитуды по мере роста давления.

Испытания модели трубопроводной системы проводились в две стадии. Вначале проводилось 100 000 циклов нагружения (моделировался весь срок службы АГНКС), каждый из которых представлял подъем давления от 0 до 25 МПа и сброс до 0 МПа. После циклических испытаний проводился подъем давления в трубопроводной системе. На начальном этапе давление поднималось до 25 МПа — рабочего давления трубопроводов АГНКС, далее проводился ступенчатый подъем давления с промежуточными выдержками через каждые 5 МПа до разрушения трубной системы. На данном этапе испытаний проводился отбор наиболее информативных диагностических признаков сигналов АЭ о начале и развитии процесса разрушения трубной модели реального объекта.

На рис. 1 представлены общие результаты АЭ контроля при циклическом нагружении. Зарегистрированы единичные сигналы акустической эмиссии. В зоне одного из искусственно заложенного в сварном шве дефекта, имеющего максимальный размер, выявлен активный источник АЭ. В целом по трубопроводной модели накопление сигналов равномерное, имеет линейную зависимость. Активность источников АЭ невысокая, со временем практически не меняется, средние интервалы между событиями примерно одинаковые. Все сигналы АЭ имеют амплитуды 56—66 дБ (не критичный источник). Среднеквадратичное отклонение амплитудного распределения сигналов находится в пределах 4—6 и практически не меняется на всем этапе испытаний. Приведенная выше картина соответствует квазистационарному, не меняющемуся за время испытаний развитию процесса разрушения, поэтому выявленный источник АЭ сигналов классифицируется как активный, т. е. развивающийся, но без ускорения.

На рис. 2 представлены результаты обработки данных АЭ контроля при статическом нагружении. Накопление сигналов неравномерное, имеет зависимость, определяемую графиком подъема давления, причем наблюдается увеличение активности со временем. Это говорит об изменении характера процесса разрушения — с квазистационарного на



этапе циклического разрушения на ускоряющийся на этапе статического нагружения, в амплитудных спектрах появляются сигналы с большой амплитудой 70—90 дБ (критически активный источник). Среднеквадратичное отклонение амплитудного распределения сигналов АЭ находится в пределах 4,5—7,5 и возрастает при подъеме давления, что соответствует процессу развития трещинообразования с ростом нагрузки (рис. 3). Источники АЭ сигналов лоцируются в зонах искусственно заложенных дефектов в сварных швах.

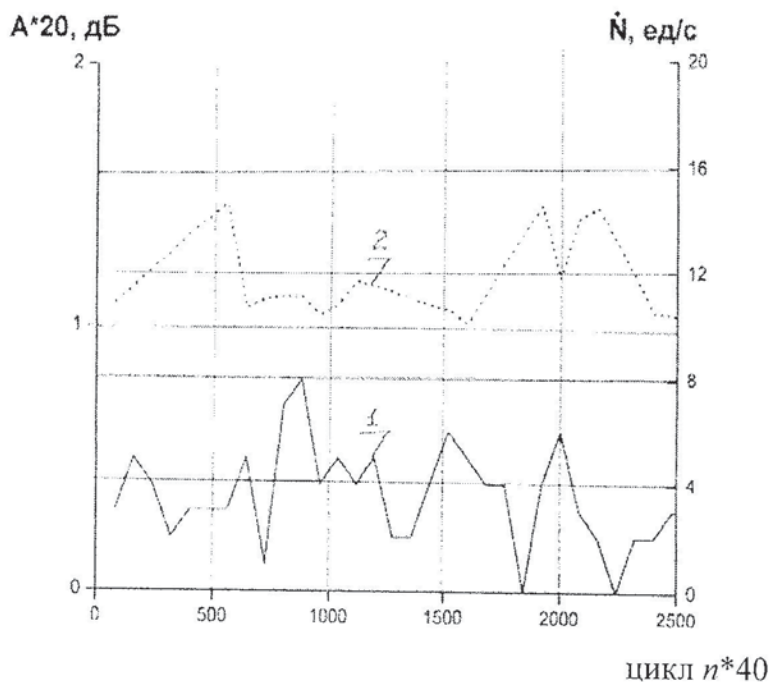


Рис. 1. Зависимость активности и амплитуды сигналов АЭ от числа циклов при циклическом нагружении макета трубопровода: 1 — зависимость активности сигналов АЭ от числа циклов; 2 — зависимость средней амплитуды сигналов АЭ от числа циклов

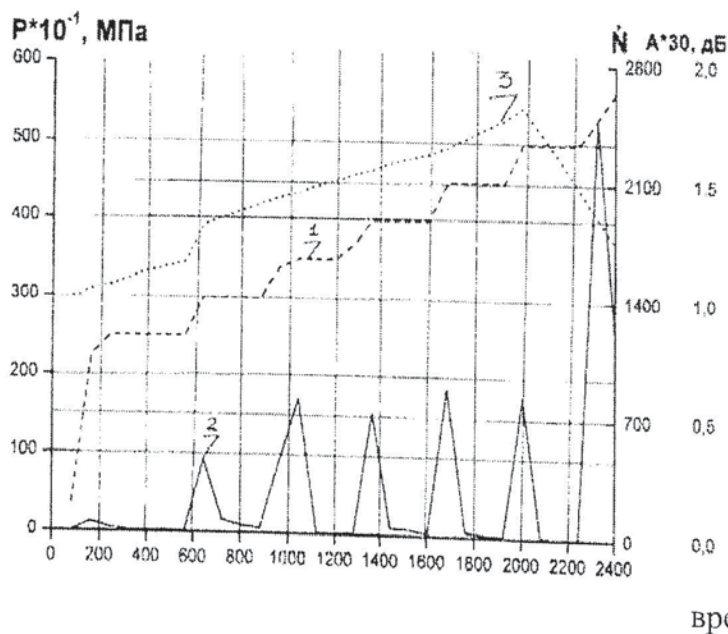


Рис. 2. Зависимость активности и амплитуды сигналов АЭ при статическом нагружении модели трубопровода: 1 — зависимость испытательного давления от времени; 2 — зависимость активности сигналов АЭ от времени; 3 — зависимость средней амплитуды сигналов АЭ от времени

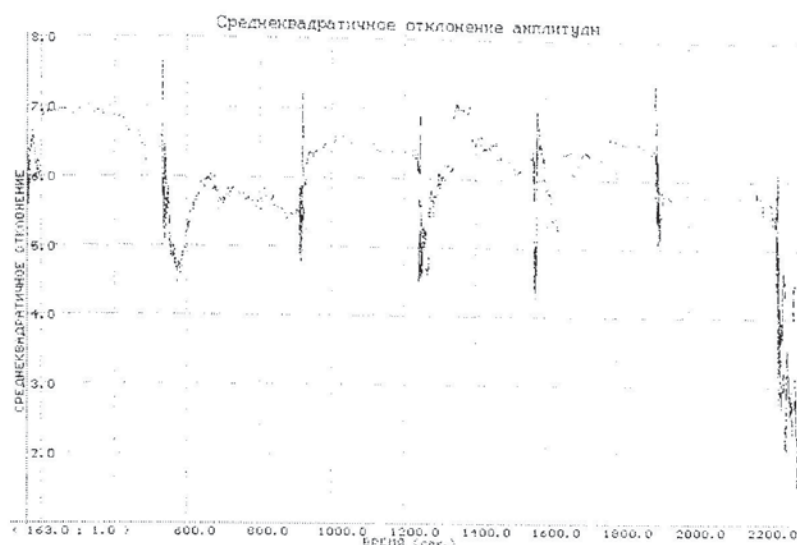


Рис. 3. Зависимость среднеквадратического отклонения амплитуды АЭ сигнала от времени при статическом нагружении макета трубопровода

В некоторый момент времени число АЭ сигналов небольшой амплитуды в зоне искусственного дефекта с максимальным концентратором резко возрастает, характер изменения среднеквадратичного отклонения становится пульсирующим, что свидетельствует о прорастании этого дефекта до сквозного. В зоне сварного шва с максимальным по величине концентратором напряжений и произошла разгерметизация трубопроводной системы и образование течи.

Эти результаты совпадают с данными для циклического нагружения, которые регистрировали координаты этой зоны с максимальной активностью сигналов АЭ.

Следующая по величине коэффициента концентрации напряжений зона являлась и второй по активности сигналов АЭ. Далее, единичные источники АЭ обнаружены в районе третьей по величине коэффициента концентрации напряжений зоне. Наконец, по остальным трем трубным образцам наблюдалась фоновая акустическая эмиссия (зоны с низкими значениями коэффициента концентрации напряжений).

### Выводы

1. При проведении АЭК газопроводов АГНКС и трубных пучков теплообменного оборудования процесс зарождения и развития дефекта можно обнаружить уже на ранней стадии. Так, процесс развития дефекта с максимальным концентратором напряжений, где впоследствии и произошло разрушение, был обнаружен на стадии циклических испытаний, задолго до образования сквозного дефекта.

2. Результаты испытаний имеют значительную практическую ценность и могут использоваться при разработке методик проведения контроля и при диагностировании изделий, содержащих трубы.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ГОСТ 14249-89. «Сосуды и аппараты. Нормы и методы расчета на прочность». — М.: Изд-во Стандартов, 1989. — 16 с.
- ПБ 03-593-03. «Правила организации и проведения акустико-эмиссионного контроля сосудов, аппаратов, котлов и технологических трубопроводов». — М.: ГУП НТЦ «Промышленная безопасность», 2003. — 55 с.



- 3 МР 1998. «Акустико-эмиссионный контроль трубопроводов и сосудов, работающих под давлением, на компрессорных и газораспределительных станциях магистральных газопроводов. Методические рекомендации». — М.: ИРЦ «Газпром», 1998. — 16 с.

629.3

## РАЗРАБОТКА СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТНЫМИ ПОТОКАМИ ЭЛЕКТРОТРАНСМИССИИ МНОГООСНОГО ПОЛНОПРИВОДНОГО АВТОМОБИЛЯ

Канд. техн. наук, доц. А. А. КУПРЕЯНОВ, асп. С. А. ШЕЛОМКОВ

*Разработан способ управления электротрансмиссией, учитывающий особенности распределения мощностей по колесам многоосного автомобиля, а также процессы, происходящие в пятне контакта катящегося колеса. Способ обеспечивает минимизацию потерь энергии при движении автомобиля в условиях малого внешнего сопротивления и реализацию максимально возможных сил тяги в тяжелых дорожных условиях. Приведены две математические модели, своими результатами дающие обоснование положения предложенного способа.*

*In work the developed way of management by the electrotransmission, considering features of distribution of capacities on wheels multi-axis vehicle and processes occurring in a contact patch of a sliding wheel is resulted. The way provides minimization of losses of energy at movement of the car in conditions of small external resistance and realization of the greatest possible forces of draft in heavy road conditions. Two mathematical models, by the results proving positions of the offered way are resulted.*

Экспериментальные и теоретические исследования, а также опыт эксплуатации показывают, что на проходимость и другие сопутствующие свойства машин немалое влияние оказывает схема привода к ведущим колесам и мостам, а также механизмы, применяемые в узлах связи привода. Особенно остро эта проблема стоит для многоосных колесных машин специального назначения.

Улучшение параметров и характеристик проходимости транспортных средств (ТС) в мировом автомобилестроении связывают с концепцией рационального распределения крутящего момента по колесам автомобиля в зависимости от условий движения. Для отдельных режимов эксплуатации эти проблемы решают антиблокировочные и противобуксовочные системы. Последнее время возрастает интерес к так называемым «гибким» трансмиссиям — электро- (ЭТ) и гидрообъемные (ГОТ), так как механические перестают удовлетворять новым требованиям. Механическая трансмиссия распределяет мощности к ведущим колесам не оптимальным образом, присутствует «циркуляция» мощности (в заблокированных схемах), сложная конструкция не позволяет управлять каждым колесом в отдельности. Этим недостаткам лишены ГОТ и ЭТ. Они позволяют создать практически любой алгоритм подведения мощности к ведущим колесам. Практически у всех созданных в прошлом ЭТ и ГОТ трансмиссий положительные качества нивелировались двумя основными недостатками: недостаточно высоким к.п.д. и отсутствием специально созданного способа управления трансмиссией. Поэтому для «гибких» трансмиссий возникает задача разработки оптимального способа распределения крутящего момента по колесам ТС, а такого способа на сегодняшний день разработано не было.