

Экспериментальная методика регистрации и оценки накопленного усталостного повреждения в материале нефтегазового трубопроводного оборудования с помощью датчиков деформации интегрального типа

Т.Р. Змызгова (Курган, Россия)

tanja_z@pochta.ru

к.т.н., доцент, зав. каф. «Информатика»,
Курганский государственный университет

Рассматривается проблема диагностики работоспособности трубопроводного оборудования нефтегазовой отрасли по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Изложена методика, позволяющая исследовать процесс накопления пластических деформаций в датчиках деформации интегрального типа при циклическом нагружении.

Материалы и методы

Цифровое изображение, датчик деформации интегрального типа, алюминиевая фольга, лабораторное испытание, методы фильтрации.

Ключевые слова

датчик деформации интегрального типа, циклическое нагружение, ресурс, трубопроводное оборудование, металлоконструкция, диагностика

The experimental method of registration and estimation of accumulated fatigue damage in the oil and gas equipment material according to the integral strain gauge's indications

Authors

Tatiana R. Zmyzгова (Kurgan, Russia)

Candidate of Technical Sciences,
Head of the Department of Informatics,
Kurgan State University

Abstract

Author is considering the problem of availability of pipeline equipment in oil and gas industry using the integral strain gauges' indications. You can learn about the technic, which helps to explore the process of strain accumulations in those under cyclic loading.

Опыт эксплуатации подъемно-транспортного и нефтегазового оборудования свидетельствует, что к моменту окончания нормативного срока службы его остаточный ресурс не исчерпан. Современная промышленность, в том числе и нефтегазовая, нуждается в своевременном выявлении металлоконструкций с недопустимо низкой или достаточно высокой для возможного последующего использования долговечностью. При оценке долговечности или расчете запаса прочности необходимо с заданной степенью надежности гарантировать отсутствие отказов, связанных с разрушением или недопустимыми деформациями конструкции.

К настоящему времени, несмотря на существенные усилия как отечественных, так и зарубежных ученых и специалистов, диагностика накопленных усталостных повреждений металлоконструкций в процессе эксплуатации и прогнозирование остаточного ресурса по усталости является нерешенной проблемой. Оценка работоспособности нефтегазового трубопроводного оборудования с учетом реальных условий эксплуатации является задачей, решение которой требует наличия экспериментальных данных по режиму нагружения. Данную информацию можно получить, используя средства косвенного диагностирования усталости, к которым относятся датчики деформаций интегрального типа. Применение ДДИТ для решения подобных задач к настоящему времени имеет наибольший опыт, как по объектам исследования, так и по количеству решенных задач [1, 2].

Известно, что большинство металлоконструкций при различных режимах и условиях нагружения по-разному сопротивляются циклическому разрушению. Многообразие условий нагружения, встречающихся на

практике, определяет соответствующее разнообразие принципов действия и конструктивных схем нагружения испытательных систем.

Для исследования подобных ситуаций в учебно-исследовательской вузовско-академической лаборатории «Эксплуатационная надежность транспортных машин» Курганского государственного университета был спроектирован и изготовлен специальный экспериментальный стенд для испытаний на выносливость различных металлоконструкций и деталей машин. В качестве исследуемого образца был выбран фрагмент трубы магистрального нефтепровода диаметром 720 мм, толщина стенки 9 мм, материал трубы — сталь 14 ХГС. Согласно ГОСТ 19282-73 технические характеристики стали $\sigma_b = 490,5$ МПа (предел прочности), $\sigma_T = 343,4$ МПа (предел текучести).

Усталостные испытания образца осуществлялись на машине усталостных испытаний МУИ-6000 при циклическом растяжении в условиях мягкого режима нагружения ($P_{max} = 106$ кН, $P_{min} = 20$ кН) до момента появления усталостной трещины, которая привела к полному разрушению образца при числе циклов нагружения $N = 86000$ (рис.1). Частота нагружения — 500 циклов в минуту, амплитуда напряжений — $\sigma_a = 265,067$ МПа.

Выбор данного режима нагружения объясняется тем, что при эксплуатации трубопровода в стенке трубы возникают как растягивающие, так и сжимающие напряжения. Проведение испытаний образцов на машине МУИ-6000 соответствует их нагружению симметричным циклом с коэффициентом асимметрии $R = -1$.

Используемый в эксперименте ДДИТ был изготовлен из алюминиевой фольги в виде



Рис. 1 — Образец материала трубы нефтепровода после циклического нагружения

прямоугольной полоски размером 4×60 мм. Известно, что алюминиевые ДДИТ обладают на порядок большей чувствительностью к накоплению усталостных повреждений в сравнении с медными пленками. Наклейку датчика осуществляли клеем «Циакрин-ЭО» на основной металл образца трубы. Этот клей обеспечивает, с одной стороны, надежной сцепление ДДИТ с испытуемым образцом, а с другой — возможность снятия датчика при отмачивании его ацетоном. Поскольку датчик непосредственно контактирует с поверхностью образца [1, 2], клеевая прослойка вносит погрешность измерения деформаций не более 1...2%, то, пренебрегая толщиной датчика, значительно меньшей, чем размеры образца, амплитудные значения деформаций датчика и образца можно принять равными.

Снятие информации с ДДИТ о накопленном усталостном повреждении непосредственно на конструкции технически затруднено. Это связано с тем, что, данный метод бесконтактный и требует ровной ориентации поверхности ДДИТ для доступа аппаратуры. Поэтому после наработки ДДИТ снимали с образца без механического воздействия. Затем поверхность ДДИТ исследовали под микроскопом МБС-9 при 98-кратном увеличении в лабораторных условиях. Реакцию поверхности регистрировали цифровой фотокамерой. Поскольку ДДИТ обладают необратимым накопительным эффектом изменения свойств под действием циклических деформаций, изображения их реакции, отражающие появление и развитие на их поверхности «темных пятен», позволяют выявлять процесс накопления усталостных повреждений в материале образца. На рис.2 выборочно представлена динамика распространения «темных пятен» на датчике в результате нагружения.

Возникновение и распространение на ДДИТ реакции в виде «темных пятен» при циклическом его деформировании вместе с образцом трубы позволяет судить о процессах накопления усталостных повреждений в основном материале образца. При большом увеличении можно увидеть, что «темные пятна» представляют собой локальные зоны с измененной шероховатостью поверхности. При сравнительном анализе полученных фотографий внешнего вида реакции ДДИТ нетрудно заметить, что размеры и плотность «темных пятен» заметно увеличиваются по мере возрастания числа циклов нагружения.

При анализе разрушений трубопроводов обычно различают три стадии: стадия зарождения трещины, стадия увеличения трещины до критических размеров и стадия распространения трещины [3]. Первая стадия является наиболее ответственной, поскольку

устранение этой стадии позволяет предотвратить все последующее разрушение трубы. Данная задача является ключевой в проблеме обеспечения надежности трубопровода. В то же время многообразие и неопределенность в общем случае формы и размеров дефектов в конструкции не только затрудняют, а в подавляющем большинстве случаев исключают возможность получения расчетной количественной оценки стадии зарождения усталостной трещины. Задача усложняется также тем, что математическое описание условий перехода в трещину дефекта даже с заданной формой и размерами для таких пластических материалов, как трубные стали, в настоящее время отсутствуют.

Для исследования процессов накопления усталостных повреждений в образце трубы при циклическом растяжении был определен уровень накопленного усталостного напряжения в образце в виде относительной площади, занимаемой «темными пятнами» на изображениях реакции ДДИТ, которые подвергались компьютерной обработке при помощи разработанного математического и программного обеспечения [4, 5]. Следует отметить, что в общем случае использование «темных пятен» в качестве параметров, несущих информацию о величине циклических деформаций, вызывает определенные трудности, связанные с количественной оценкой их плотности. Использование методологии, основанной на цифровом анализе изображений реакции ДДИТ, позволяет эффективно решить эту задачу.

На рис.3 приведены результаты соответствующей обработки изображений, приведенных на рис.2. Возможность компьютерной обработки некоторой области изображения позволяет более гибко выполнять обработку изображений реакции ДДИТ в соответствии с замыслом исследователя.

Разработанный метод количественной оценки реакции датчиков по относительной площади «темных пятен» позволяет получать объективную оценку величины циклических деформаций на поверхности деталей и металлоконструкций. Кроме того, использование величины в качестве выходного параметра ДДИТ, характеризующего уровень циклических деформаций, позволяет не только существенно расширить область функциональных возможностей использования датчиков при проведении экспериментальных исследований, но и реализовать способ количественной оценки реакции ДДИТ. В дальнейшем эти результаты могут быть использованы для калибровки ДДИТ по относительной площади «темных пятен» и построения тарировочной зависимости, при помощи которой можно

Materials and methods

Digital image, integral strain gauges, aluminum foil, laboratory research, filtration methods.

Results

Author is considering the experimental technic, which helps to explore the process of strain accumulations in the integral strain gauges under cyclic loading.

Conclusions

Using the integral strain gauge's indications is the effective method of estimation of accumulated fatigue damage in the oil and gas equipment material.

Keywords

integral strain gauges, cyclic loading, resource, pipeline equipment, metalware, diagnostics

References

1. Syzrantsev V.N., Golofast S.L. *Izmerenie tsiklicheskih deformatsiy i prognozirovanie dolgovechnosti detaley po pokazaniyam datchikov deformatsiy integral'nogo tipa*. [Cyclic strains measurement and machine parts longevity forecasting according to integral strain gauges indications] Novosibirsk: Nauka, 2004, 206 p.
2. Syzrantsev V.N., Golofast S.L., Syzrantseva K.V. *Diagnostika nagruzhennosti i resursa detaley transmissiy i nesushchikh sistem mashin po pokazaniyam datchikov deformatsiy integral'nogo tipa*. [Diagnostics of loading and resource of parts of machines transmissions and carrying systems according to integral strain gauges indications] Novosibirsk: Nauka, 2004, 188 p.
3. Mahutov N.A., Pashkov Y.I. *Primenenie mekhaniki razrusheniya dlya otsenki treshchinostoykosti truboprovodov. Problemy mashinostroeniya i avtomatizatsii*. [Application of fracture mechanics for assessing crack growth resistance of the pipeline. Mechanical engineering and automation problems] 1991, issue 1, pp. 43-52.
4. Syzrantsev V.N., Trocenko D.A., Zmizgova T.R. *Predvaritel'naya obrabotka cifrovih izobrazheniy reakcii datchikov deformatsii integralnogo tipa dlja ocenki povregdenosti svarnih soedineniy. Sovremennye metody izucheniya plastov i skvazhin pri reshenii zadach razrabotki neftyanykh i gazovykh mestorozhdeniy* [Preprocessing of digital images of integral strain gauges reactions for assessing the damage of welds. Modern methods of stratums and wells analysis in solving the problems of oil and gas deposit occurrence development] Vypusk 1. Sbornik trudov kafedry «Razrabotka i ekspluatatsiya gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdeniy». Tumen: TumGNGU, 2004, pp. 228-233.
5. Syzrantsev V.N., Golofast S.L., Obakshin P.A., Zmizgova T.R. *Osobennosti fil'tratsii tsifrovih izobrazheniy reaktsii datchikov deformatsiy integral'nogo tipa dlya otsenki povrezhdennosti detaley i konstruksiy mashin* [The distinctive features of the filtration of digital images of integral strain gauges reactions for assessing the damage of the machine parts and constructions] Vestnik mashinostroeniya, 2007, issue 9, pp. 77-78.

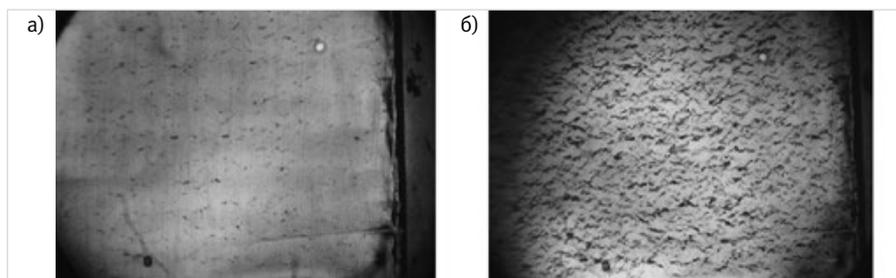


Рис. 2 — Изображения реакции датчика:
а) $N = 20$ (тыс. цикл.)
б) $N = 80$ (тыс. цикл.)

6. Zmizgova T.R. *Matematicheskoe opisanie experimentalnih dannih tarirovочnih ispitaniy DDIT. Almanah sovremennoy nauki i obrazovaniya [Mathematical depiction of the experimental data of taring tests of integral strain gauges. Literary miscellany of modern science and education]* Tambov: Gramota, 2010, issue 5, pp. 53–56.

решить задачу восстановления уровня циклических деформаций (напряжений) при циклическом нагружении [6].

Достигнутые результаты подтверждают гипотезу о том, что ДДИТ реагируют независимо от уровня напряжений (деформаций) при одной и той же величине поврежденности основного металла. Это позволяет строить эффективные методики прогнозирования

ресурса деталей и конструкций машин на ранних стадиях их циклического деформирования. Принимая во внимание, что число циклов нагружения образцов до появления реакции на ДДИТ составляет до 10 тыс. циклов, а прогнозируемое число циклов до поломки — сотни тысяч — десятки миллионов циклов, глубина прогноза может превышать на два-три порядка и более интервал наблюдения.

Итоги

Представлена экспериментальная методика, позволяющая исследовать процесс накопления пластических деформаций в датчиках деформации интегрального типа при циклическом нагружении.

Выводы

Датчики деформаций интегрального типа — эффективные средства оценки накопленного усталостного повреждения при циклическом нагружении в материале нефтегазового трубопроводного оборудования.

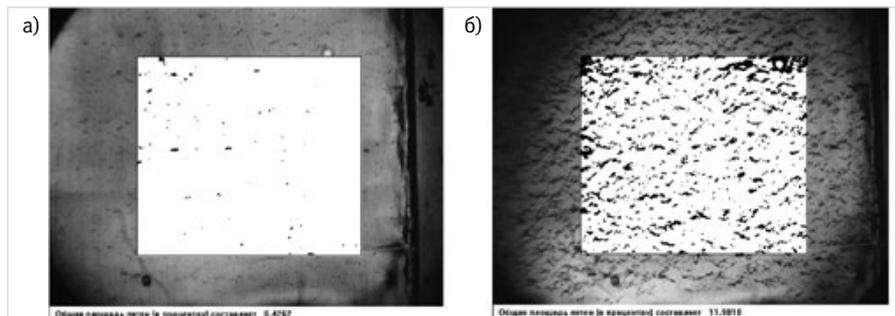


Рис. 3 — Компьютерная обработка выделенного фрагмента изображения реакции ДДИТ: а) $N = 20$ (тыс. цикл.), $\sigma = 0,4262$, б) $N = 80$ (тыс. цикл.), $\sigma = 11,9010$

Список использованной литературы

- Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л. Измерение циклических деформаций и прогнозирование долговечности деталей по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск: Наука, 2004. 206 с.
- Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л., Сызранцева К.В. Диагностика нагруженности и ресурса деталей трансмиссий и несущих систем машин по показаниям датчиков деформаций интегрального типа. Новосибирск: Наука, 2004. 188 с.
- Махутов Н. А., Пашков Ю.И. Применение механики разрушения для оценки трещиностойкости трубопроводов. // Проблемы машиностроения и автоматизации. 1991. №1. С. 43–52.
- Сызранцев В.Н., Троценко Д.А., Змызгова Т.Р. Предварительная обработка цифровых изображений реакции датчиков деформаций интегрального типа для оценки поврежденности сварных соединений // Современные методы изучения пластов и скважин при решении задач разработки нефтяных и газовых месторождений. Выпуск 1. Сборник трудов кафедры «Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений». Тюмень: ТюмГНГУ, 2004. С. 228–233.
- Сызранцев В.Н., Голофаст С.Л., Обакшин П.А., Змызгова Т.Р. Особенности фильтрации цифровых изображений реакции датчиков деформаций интегрального типа для оценки поврежденности деталей и конструкций машин // Вестник машиностроения. 2007. № 9. С. 77–78.
- Змызгова Т.Р. Математическое описание экспериментальных данных тарировочных испытаний ДДИТ. Альманах современной науки и образования. Тамбов: Грамота, 2010. №5. С. 53–56.

Шестая международная конференция «Нефтепереработка и экспорт нефтепродуктов Республики Беларусь» пройдет в апреле 2013 в Минске

Международная конференция «Нефтепереработка и экспорт нефтепродуктов Республики Беларусь» — одно из важнейших событий в нефтяном календаре региона, которое ежегодно собирает на регулярной основе руководителей и специалистов нефтегазовой отрасли, представителей государственных структур, частных организаций и инвесторов, пройдет 23-24 апреля 2013 г. в Минске уже в шестой раз. Организатором является компания Confidence Capital при неизменной поддержке концерна «Белнефтехим».

Конференция является единственным мероприятием, рассматривающим в полном объеме ситуацию и перспективы белорусской нефтепереработки и реализации нефтепродуктов. Тематика мероприятия вызывает беспрецедентный интерес со стороны представителей нефтегазовой отрасли как Республики Беларусь и стран СНГ, так и Западной Европы. В конференции ежегодно принимают участие представители нефтегазовой отрасли, ведущие трейдеры Европы, России и Беларуси, представители транспортно-логистических компаний. Участники конференции получают актуальнейшую

информацию по отрасли из первых рук.

В центре рассмотрения конференции:

- Профессиональный обзор и анализ рынков нефти и нефтепродуктов Республики Беларусь и Северо-Западной Европы
- Обзор и перспективы расширения рынка сбыта белорусских нефтепродуктов: спрос и предложение, системы тарифов, налогообложения и ценообразования. Экспортные операции
- Перспективы развития белорусской нефтеперерабатывающей отрасли. Нарастивание объемов и улучшение качества нефтепродуктов.
- Стратегическая оценка новых возможностей использования существующей инфраструктуры и развития альтернативных торговых маршрутов
- Дискуссионные сессии и возможность прямого общения с руководителями и специалистами белорусского нефтяного сектора

Среди докладчиков и участников мероприятий прошлых лет — руководители ключевых нефтегазовых компаний региона и их международные партнеры, ведущие трейдеры и транспортные компании региона,

международные банки, среди которых: концерн «Белнефтехим», Мозырский НПЗ, Нафтан, Гомельтранснефть «Дружба», Белорусские железные дороги, Белоруснефть, БНК, БНТД, Роснефть, Лукойл, ТНК-ВР, Альфа-Банк, Альянс Ойл Украина, Первая Грузовая компания, Газпромтранс, ВР, Litasco, Neste Oil, TOTSА, Orlen, Klaipėdos Nafta, Trafigura, BNP Paribas, SGS, Transbunker, Shell, Vitol и другие.

При регистрации в конференции до 12 декабря 2012 предусмотрена 12% скидка!

За подробной информацией обращайтесь:

Регистрация участников и спонсорство

Екатерина Полуянова

E-mail: e_poluyanova@cccapital.co.uk

Участие с докладом

Георгий Пирцхалайшвили

E-mail: g_pirch@cccapital.co.uk

Маркетинг и связи с медиа

Анастасия Гуцалова

E-mail: info@cccapital.co.uk

Tel: +44 (0) 20 8349 1999