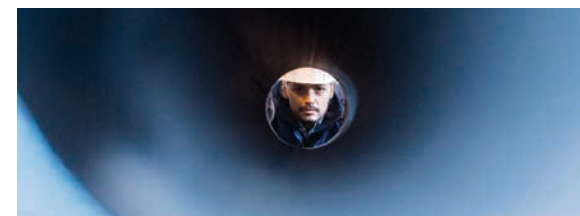


# ТРУБЫ РИФОРМЕРА И КОМПОНЕНТЫ

Комплексные услуги по испытанию труб риформера.



Испытание труб риформера	4 – 5
Наружная инспекция труб (LEO-Scan)	6 – 9
Внутренняя инспекция труб (LEO-iScan)	10
Измерение выходных пигтейлов	11
Инспекция верхних концов труб	12 – 13
Оценка остаточного срока службы	14 – 15
Технология	16
Испытательная башня компании FOERSTER	17
По всему миру	18 – 19



### Новое название, та же миссия

Важнейшей деятельностью для обеспечения безопасной и эффективной работы нефтехимических заводов является неразрушающий контроль используемых материалов, особенно центробежнолитых каталитических труб риформера и связанных с ними компонентов. На протяжении многих лет двумя лидерами в этой области были немецкая компания Magnetische Pruefanlagen (MP) и, работающая на другом конце земного шара, американская компания US Thermal Technology (USTT). MP полностью была дочерней компанией и существенной частью FOERSTER Группы – глобального концерна с главным офисом в городе Ройтлинген, Германия. С 1989 по 2020 год USTT была долгосрочным партнером MP по инспекциям труб в западном полушарии. В 2020 году USTT была приобретена непосредственно компанией

FOERSTER. В 2021 году сама MP была интегрирована в Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG. В конце 2021 года Группа FOERSTER завершила приобретение подразделения Syngas компании Quest Integrity. Эта сделка включала технический персонал подразделения и его технологии инспекции LOTIS и MANTIS.

Теперь, объединённые под руководством компании FOERSTER и известные как бизнес-подразделение «Инспекция», эти эксперты вместе продолжают важную работу, на которую сектор опирается уже более 30 лет. Не смотря на то, что названия изменились, миссия осталась прежней: предоставление комплексных услуг для всех ваших потребностей в тестировании труб риформера.

### Сделать качество видимым

FOERSTER Группа разрабатывает, производит и распространяет приборы и системы для неразрушающего контроля материалов с использованием, в частности, вихретоковой технологии. Компания FOERSTER также производит высокоспециализированные, изготовленные на заказ вихретоковые датчики для обнаружения трещин и проведения микроструктурных испытаний.

Результаты испытаний могут быть значительно улучшены используя датчики разработанные специально для сложной геометрии тестируемых компонентов. Для калибровки испытательных систем компания FOERSTER изготавливает искусственные контрольные дефекты, различающиеся по глубине, ширине и длине, вместе со стандартными калибровочными блоками.



Эльдорадо химический завод, Эльдорадо, Арканзас; часть компании LSB Industries



Parent Company of MP and USTT  
Owner of LOTIS and MANTIS Technology



Испытание труб риформера методом LEO Scan

## Испытание труб риформера





Важным направлением деятельности бизнес-подразделения «Инспекция» является предоставление своим клиентам комплексных услуг по испытанию труб риформера. Эти испытания проводятся на заводах по производству аммиака, метанола, водорода и горячебрикетированного железа (ГБЖ) по всему миру.

Автоматизированные испытания проводятся нашими высококвалифицированными инспекторами неразрушающего контроля (НК), имеющими квалификацию в соответствии с EN ISO 9712. Эти инспекторы являются дипломированными инженерами с многочисленными техническими сертификатами уровня 2 и 3 по различным дисциплинам, включая вихретоковую методологию. Поскольку мы проектируем, изготавливаем и определяем используемые компоненты, испытания каталитических труб риформера могут быть надёжно выполнены даже в условиях требующих технологического опыта.

Всем нашим клиентам рекомендуется использовать полный пакет соответствующих методов контроля предлагаемых компанией FOERSTER, чтобы обеспечить экономически эффективный и надёжный контроль всей установки. Такой комплексный подход гарантирует, что

трубы риформера и их компоненты будут регулярно проверяться через соответствующие промежутки времени в течение всего срока службы. Если по результатам проверки выявлены неисправности, можно оперативно принять меры по их устранению, чтобы максимизировать производство, исключить простой и обеспечить более безопасное рабочее место.

#### Услуги включают:

- Базовая инспекция труб (когда они новые, до ввода в эксплуатацию);
- Регулярное сканирование центробежнолитых каталитических труб риформера в течение всего срока службы (каждые 2 – 4 года);
- Оценка остаточного срока службы (RLA – Remaining life assessment) труб риформера с использованием неразрушающих методов;
- Деструктивные исследования труб риформера с использованием отобранных образцов труб, с помощью независимых лабораторий;
- Инспекция выходных пигтейлов на деформацию и магнитную проницаемость;
- Внутренняя инспекция верхних концов труб, используя вихревые токи;
- Вспомогательные услуги по мере необходимости.

LEO-SCAN

## Наружная инспекция труб (LEO-Scan)



Полная система сканирования LEO-Scan установлена на уникальном устройстве, поднимающемся по трубах. Специальная конструкция этого устройства транспортирует датчики от пола печи – в зависимости от конструкции риформера – до потолка и также в зоны между туннелями для сбора дымовых газов, если таковые имеются. Датчики и лазеры установлены вблизи нижней части устройства, что позволяет снимать показания в наиболее критических нижних зонах типичного риформера с нисходящим потоком, поскольку эта часть трубы считается самой горячей. Устройство также предназначено для испытания риформеров с расстоянием между трубами всего 20 мм (0,79 дюйма). Это позволяет проводить инспекцию труб от наружного диаметра (Днар) в печи с очень маленькими просветами между трубами. Другие конфигурации устройств и датчиков также доступны для испытания риформеров с восходящим потоком. Очистка труб не требуется.

Вихретоковая система калибруется на трубе риформера длиной 0,4 м (15,75 дюйма), которая разделена по длине и имеет выемку на внутренней стороне сделанной электроэрозионной обработкой (ЭЭО), которая слу-

жит искусственно созданной трещиной. Калибровка подтверждает как идентификацию дефекта, так и проникновение на всю толщину стенки.

Устройство LEO-Scan использует двухосевую лазерную систему для измерения наружного диаметра труб по всей длине внутри печи. Измерение наружного диаметра, хотя и не является основным инструментом контроля, является важным вторичным тестом для выявления ползучести. Использование лазеров для этой инспекции обеспечивает повторяемость и позволяет регистрировать диаметр трубы в цифровом виде по всей длине трубы внутри риформера.

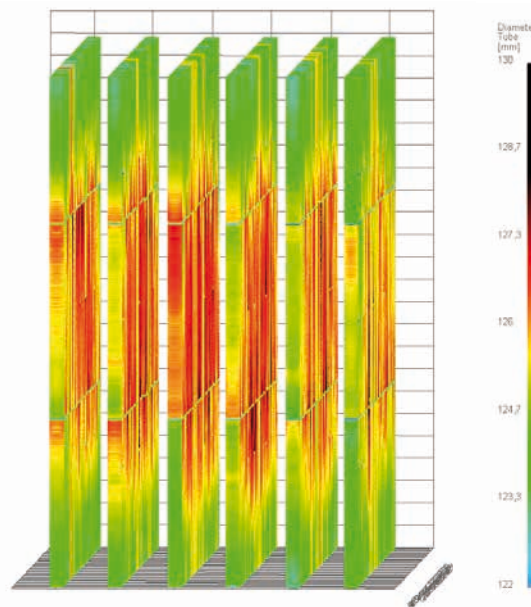


Рисунок 1: Типичные результаты осмотра

Этот метод может выявить тенденции в профиле обжига печи и помочь изолировать области с проблемами загрузки катализатора или проблемами с состоянием катализатора. С помощью этих данных можно также выявить проблемы с потоком дымовых газов. Результаты Днар и показания вихревых токов снимаются и отображаются одновременно, что облегчает их интерпретацию.

Это единственная проверенная вихретоковая система, используемая в настоящее время, которая проникает через всю толщину стенки трубы до 24 мм (0,95 дюйма). По мере продвижения устройства по трубам специально разработанные вихретоковые датчики регистрируют сигналы для оценки. Система не только регистрирует изменения магнитной проницаемости, но и, что более важно, обрабатывает и непрерывно следит за ними, что позволяет вихретоковой системе обнаруживать трещины и дефекты в стенке трубы и на поверхностях наружного и внутреннего диаметров. Поскольку система работает в электронном режиме, LEO-Scan не требует никакой контактной жидкости (например, воды), что делает всё исследование абсолютно повторяемым.

Повторяемость является ключевым элементом для этого вида инспекции. Это позволяет накладывать результаты каждой проверки и сравнивать их непосредственно из года в год. Любое отклонение в сигналах может быть связано с повреждением стенки трубы. Это значительно отличается от ультразвукового контроля: вариации прочности соединения препятствуют повторяемости, а сложность проникновения в эти материалы – например, из-за литой шероховатости и большого размера крупных зёрен (высокое рассеивание/затухание) – делает ультразвук неподходящим выбором для центробежнолитых труб.

С помощью четырёх лазеров (в зависимости от расстояния между трубами) LEO-Scan измеряет внешний диаметр и одновременно проводит вихретоковое испытание. Лазеры обеспечивают максимальную точность и повторяемость. Измерение диаметра трубы, которое выполняется как вторичная процедура и может выявить нормальную ползучесть, также может помочь выявить вероятные причины, которые вызвали повреждение.

### Существует три сценария, по которым может произойти повреждение труб риформера

- Возможно образование трещин без диаметрального роста в результате эксплуатационных нарушений, проблем с катализатором, отклонением струи пламени (кратковременный перегрев), проблем с распределением потока дымовых газов и тепловым ударом;
- Диаметральный рост может образовываться без растрескивания (долговременный перегрев);
- Комбинация первого и второго.

Система LEO-Scan способна выявлять такие сложные дефекты благодаря сочетанию вихретоковых испытаний и лазерных измерений, что делает её одной из самых тщательных и эффективных систем на рынке.

При необходимости, основываясь на результатах инспекции или количестве лет, в течение которых трубы находились в эксплуатации, может быть рекомендована оценка остаточного срока службы (неразрушающий подход, основанный на деформации). Она обеспечит расчёты остаточного срока службы на основе опыта и экспертной оценки для принятия решений о пригодности к эксплуатации (FFS - Fitness for Service), стратегии замены и поддержки закупок для общего управления сроком службы труб. Окончательный результат этого анализа предоставляет нашим клиентам оценку пригодности к эксплуатации II уровня по стандарту API-579.



LEO-Scan



На рисунке 2 показано наложение результатов проверок за несколько лет, проведенных с внешней стороны трубы. В идеале эти диаграммы начинаются с базовой инспекции, которые затем накладываются поверх других при каждой последующей проверке. Таким образом, изменения в сигналах Днар и вихревых токах становятся сразу заметными и могут быть легко оценены. Этот график четко показывает изменения (рост) Днар вблизи левой части графика, которая представляет собой нижнюю часть трубы.

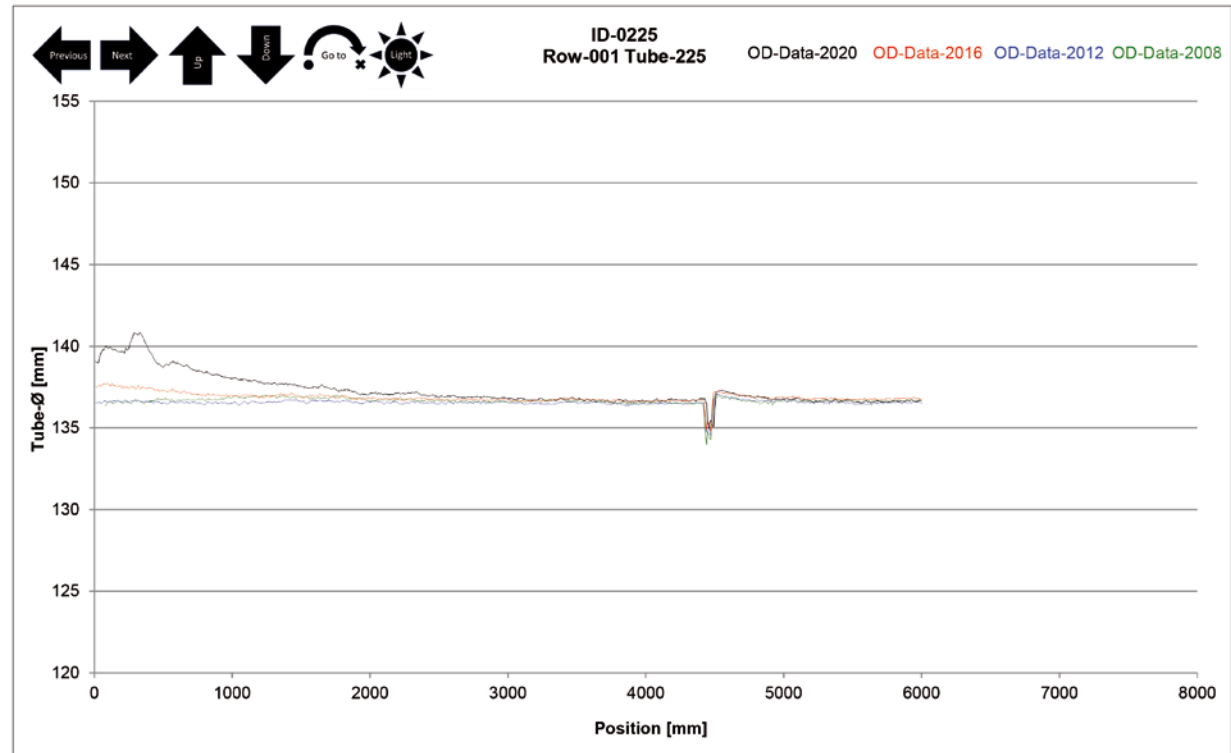


Рисунок 2: Четыре инспекции наружного диаметра трубы риформера наложены друг на друга, чтобы показать изменения с течением времени (базовая линия - инспекция 2008 года, а следующие – инспекции 2012, 2016 и 2020 годов).

LEO-iScan – это новое сложное устройство, которое разработано в бизнес-подразделении «Инспекция», теперь доступно для использования. Это устройство включает в себя мощный лазерный блок, который очень точно измеряет внутренний диаметр (Двн) в сочетании с системой вихревых токов. Их прочность и надёжность были подтверждены в полевых условиях. Инспекция проводится, начиная с верхней части фланца трубы и далее до опорной решётки катализатора. Это возможно только при замене катализатора в трубах. Поскольку внутренние поверхности труб риформера подвергаются механической обработке, рост ползучести может быть легко распознан по этим измеренным значениям даже без предварительных (базовых) данных. Система использует восемь лазеров, расположенных на четырёх осях, чтобы получить полную картину Двн трубы.

Одним из преимуществ использования вихревых токов для осмотра изнутри является близость датчиков к месту возможного повреждения при ползучести, которое обычно начинается примерно с 1/3 поверхности Двн.

Это устройство разработано для тех печей, которые необходимо контролировать на предмет повреждения от ползучести под полом, или для труб, которые касаются друг друга из-за сильной кривизны и поэтому недоступны снаружи. Оно также может использоваться в качестве вторичной проверки для подтверждения состояния ползучести трубы. Результаты показывают диаметр трубы в 360° и в 3-мерном виде. Эта информация может быть показана для отдельных труб, отдельных рядов или для всего риформера.

## Измерение внутреннего диаметра (Двн) с помощью нескольких лазеров и вихревых токов (LEO-iScan)



## Контроль состояния выходных пигтейлов



Выходные пигтейлы являются важнейшими компонентами, которые требуют тщательного осмотра из-за их расположения и предполагаемой функции. Для идентификации и определения ползучести, мы разработали уникальное устройство для измерения пигтейлов по диаметру от выхода трубы до коллектора.

Измерения проводятся по двум осям – такая конфигурация позволяет оценить диаметральный рост как прямых отрезков пигтейлов, так и изгибов, принимая во внимание присущие (и нормальные) различия в диаметре из-за процесса изгиба. По сравнению с ручным измерением эта новая система очень быстрая, надежная и повторяемая. Она также обеспечивает точный профиль диаметра по всей длине пигтейла, что позволяет получить оценку ползучести в цифровой форме, которую можно использовать для будущих оценок.

Также можно измерить проницаемость выходного пигтейла с помощью прибора FOERSTER MAGNETOSCOPE. Это особенно важно, когда возникает необходимость сжатия пигтейлов в случае разрыва трубы: здесь важно определить, что материал находится в подходящем состоянии, т.е. обладает достаточной пластичностью, чтобы позволить сжатие. Процедура может применяться в режиме онлайн, не требуя остановки установки для изоляции протекающих труб. В последнее время многие установки требовали остановки или, по крайней мере, снижения технологического потока до пара, только для того, чтобы можно было провести сжатие.

ИНСПЕКЦИЯ ВЕРХНИХ КОНЦОВ ТРУБ

## Инспекция верхних концов труб



Исторически принятым стандартом для проверки труб риформера в паровых риформерах метана (SMR) являлась инспекция разогреваемой длины трубы внутри печи. Часть трубы, находящаяся за пределами разогреваемой длины, обычно не проверялась в течении её эксплуатации. Однако последние тенденции изменили эту перспективу, поскольку в некоторых конструкциях установок были обнаружены внутренние дефекты и повреждения в этих ранее неинспектируемых частях труб на верхних концах. Эти дефекты были обнаружены в двух совершенно разных видах риформеров: один вид

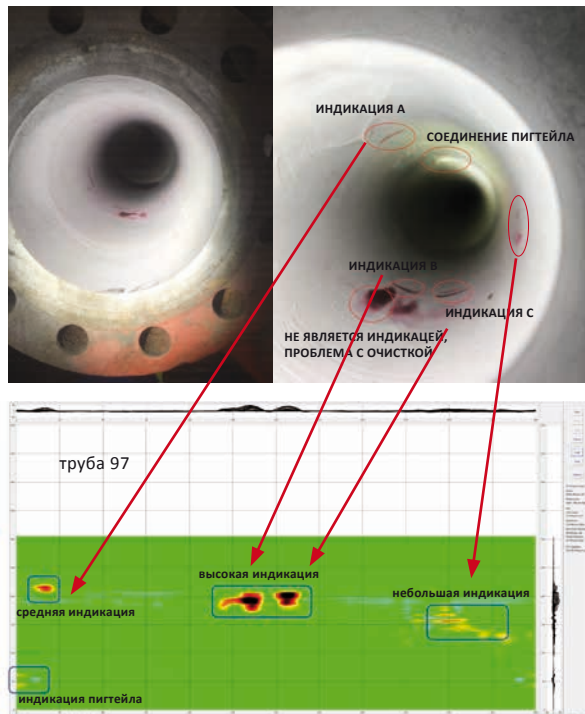


Рисунок 3: Репрезентативный скан верхнего конца с дефектами



Рисунок 4: Типичный верхний конец трубы

с верхним нагревом и нисходящим потоком, а второй с нижним нагревом и восходящим потоком. В обоих случаях причиной был механизм повреждения, известный как “термическая усталость”.

Необходимо подчеркнуть, что эти дефекты, трещины, начинаются внутри и распространяются наружу не давая никаких предупреждений до тех пор, пока непредвиденный сбой не прервет работу. Важно также отметить, что эти трещины обычно возникают без поддающейся измерению ползучести. Поэтому эффективный контроль верхних концов должен выявлять трещины, а не повреждения от ползучести.

Такие сбои могут привести к катастрофическому материальному ущербу, потере производства и нарушению техники безопасности. Это связано с тем, что огонь в верхних концах труб риформера, возникший в не часто посещаемой зоне, может гореть необнаруженным довольно долгое время. Прилегающие концы труб, входные пигтейлы и стальные конструкции могут перегреваться, вызывая каскад дальнейших повреждений.

Бизнес-подразделение «Инспекция» разработало надёжную технику и специальное устройство для проверки этих верхних концов труб, чтобы предотвратить такие катастрофы. Специально разработанный вихретоковый датчик проверяет верхние концы труб на наличие трещин и других признаков термической усталости. Своевременное обнаружение этих дефектов способствует безопасной и надёжной работе риформера и может предотвратить пожары, которые могут нанести значительный ущерб.

На рисунке 3 показан типичный снимок верхнего конца трубы риформера, на котором видны трещины в стенке трубы, распространяющиеся наружу от внутренней поверхности. Заказчик проверил трещины с помощью пенетрантного теста. Быстрое выявление таких дефектов может повысить надёжность и защитить стоимость оборудования, обеспечивая при этом безопасность.

Какой оставшийся срок  
службы Ваших труб?



TubeLife – это собственное программное обеспечение, разработанное совместными усилиями, чтобы заполнить пробел в оценке оставшегося срока службы труб риформера. Ранее не существовало общедоступных кодов или процедур, которые официально учитывали бы сложность срока службы труб риформера. TubeLife достигает это путём интеграции данных о деформации и размере трещин в свою собственную модель.

В прошлом оценки остаточного срока службы основывались на принципах и элементах после строительных стандартов, таких как API 571, API 579, R5 и/или BS7910. Однако применение этих стандартов не является идеаль-

ным, поскольку они не отражают напрямую сложность механизмов повреждения, влияющих на долговечность труб риформера. Модифицированная модель Дайсона, интегрированная в TubeLife, оценивает деформацию, накопленную за определенный период времени, как средство прогнозирования износа материала и расчёта оставшегося срока службы. Кроме того, измеренные вихретоковые показания повреждения стенок включаются в анализ с высоким приоритетом, поскольку трещины указывают на фактическое начало процесса разрушения трубы.

Программное обеспечение также получает доступ к лазерным диаметральному данным представляющим деформации, а также к информации о процессе и истории отключений.

Модель основана на нескольких механизмах деградации, которые происходят в трубах риформера. Особенно учитываются термическое старение / размягчение, деформационное размягчение, изменения зернистой структуры (особенно вторичных карбидов), увеличение плотности подвижных дислокаций, образование пустот / пор и их последующий рост. Интеграция нескольких типов деградации позволяет реалистично оценить оставшийся срок службы на основе накопления деформации во время эксплуатации трубы, в сочетании с точной оценкой образования трещин с помощью вихретоковых сигналов.

Эта методика оценки была успешно применена для многих компаний по всему миру.

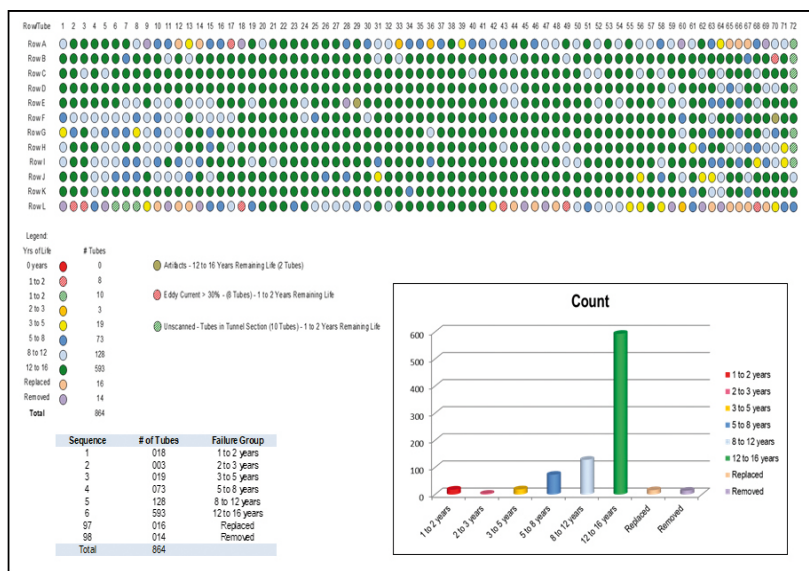


Рисунок 5: Типичный результат оценки остаточного срока службы

### Исследование трещин вихревым током

#### Неразрушающий контроль с использованием метода вихревых токов

Высокое внимание, уделяемое в наши дни качеству – не говоря уже о рисках, связанных с ответственностью за продукт – все чаще требует 100% контроля. Метод вихревых токов согласно с DIN EN ISO 15549 – это неразрушающий, бесконтактный метод испытания материалов. Он обнаруживает дефекты материала, такие как трещины, поры, полости и артефакты материала, и работает быстро, надёжно и экономично – без необходимости использования контактных жидкостей.

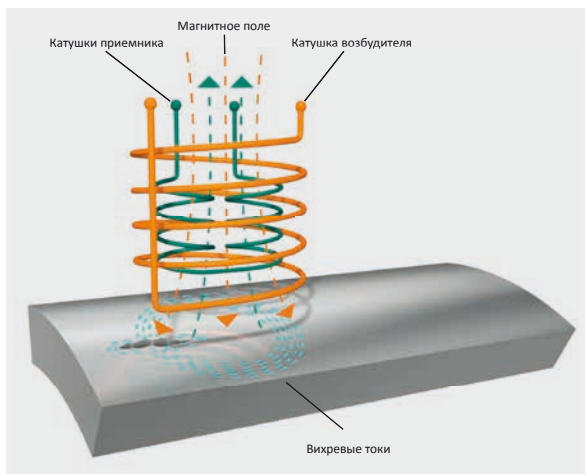


Рисунок 6: Принцип исследования вихревыми токами

Магнитное поле генерируется возбуждающей катушкой, которая индуцирует высокочастотные вихревые токи в материале. Результирующий сигнал обычно регистрируется с помощью дифференциальной измерительной катушки. Полученный сигнал оценивается по амплитуде и сдвигу фазы по сравнению с сигналом возбуждения, выявляя даже самые мелкие дефекты в материале.

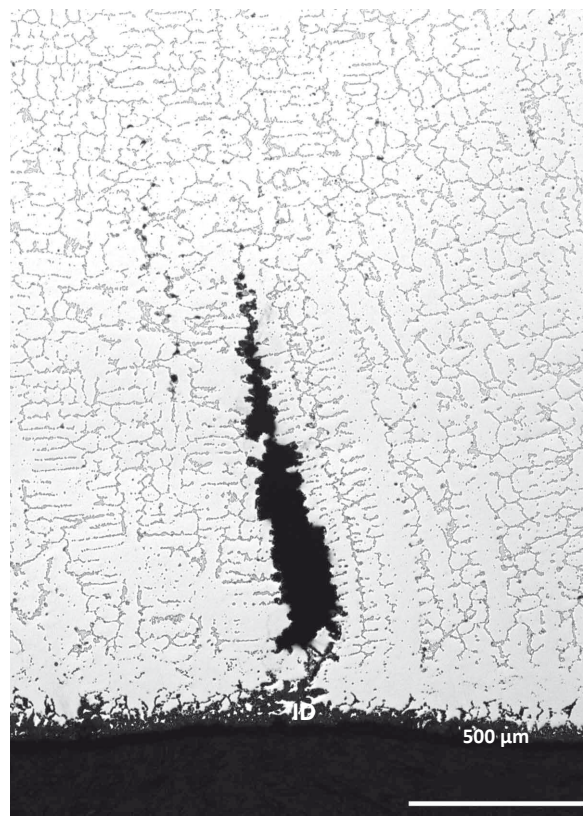
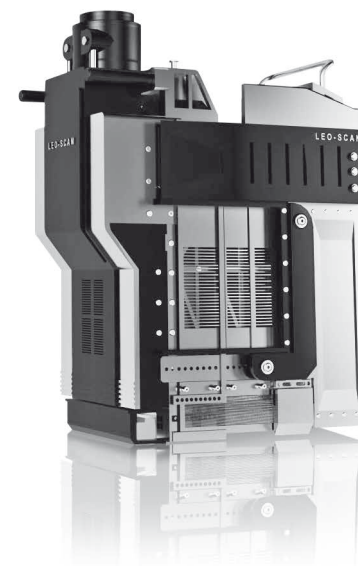


Рисунок 7: Фотомикрограф с большим увеличением трещины ползучести

### Проверка на наличие трещин

Для обнаружения трещин вихретоковый датчик перемещается по длине неподвижного объекта. Пока в материале нет повреждений, вихревые токи протекают равномерно, поскольку электрическое сопротивление однородно. Но везде, где есть трещина, плотность вихревого тока отличается от плотности неповрежденной части. Это изменение записывается и отображается как сигнал ошибки. Проникновение зависит от используемых частот: высокие частоты концентрируются ближе к поверхности, низкие частоты проникают глубже в материал. Тип датчика, размер датчика и частота испытаний выбираются в зависимости от типа желаемого испытания и материала, подлежащим испытанию.



LEO-Scan



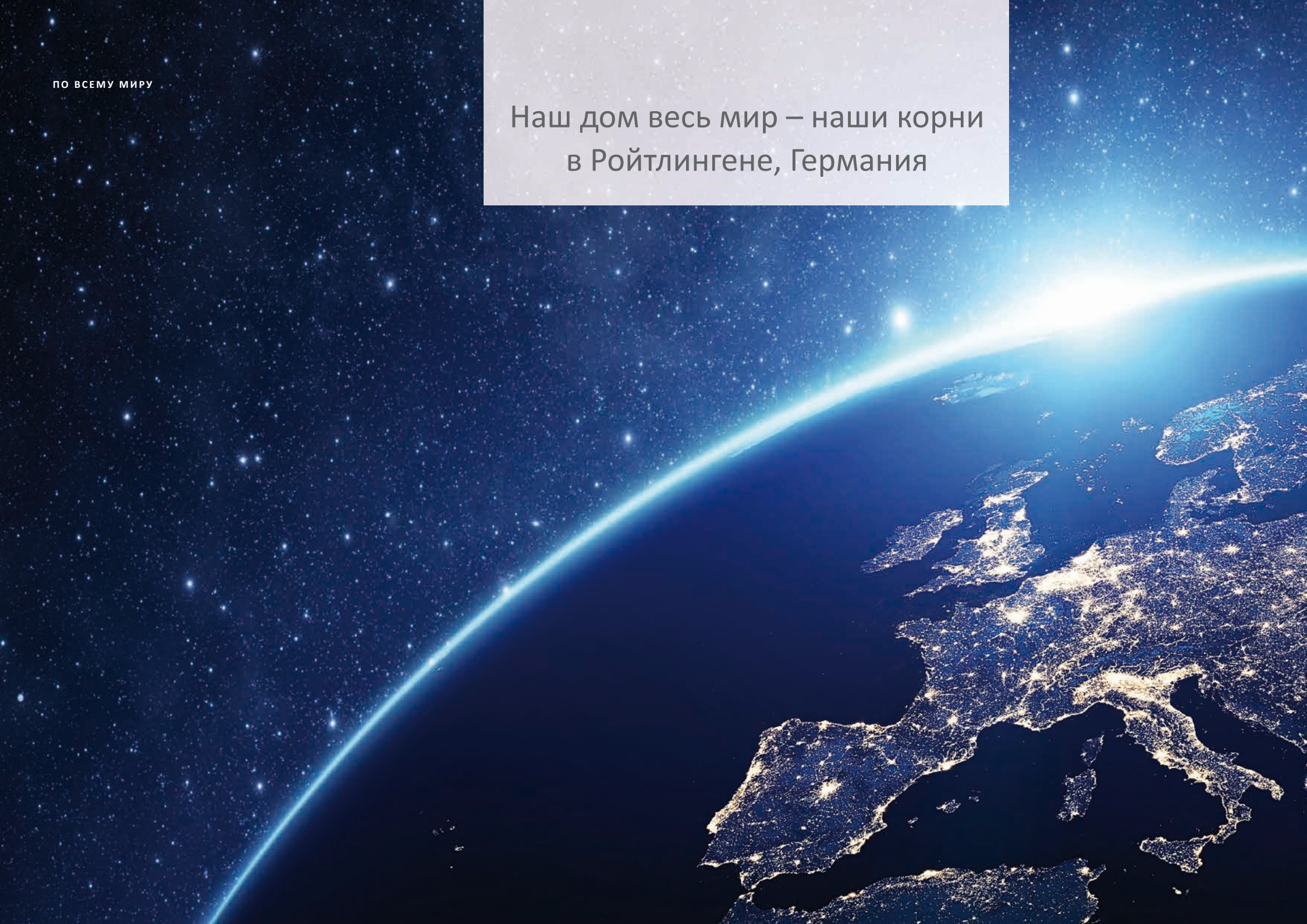
**Испытательная башня FOERSTER – наш настоящий стенд для тестирования испытательного оборудования**

Недавно установленная испытательная башня, которая содержит несколько труб в их первоначальном вертикальном положении (включая верхний фланец), является точной копией ряда каталитических труб в паровом риформере метана. Эта конфигурация обеспечивает реалистичные условия сканирования для тестирования новых разработок или оптимизации прототипов и модификаций – теперь она доступна для экспериментов с автоматизированными системами внешнего (Днар) и внутреннего (Двн) сканирования. Кроме того, она идеально подходит для тестирования программного обеспечения в части применения программ управления и сбора данных в режиме реального времени при использовании современных вихретоковых мобильных приборов.



ПО ВСЕМУ МИРУ

Наш дом весь мир – наши корни  
в Ройтлингене, Германия



**Работает по всему миру – в любое время и в любом месте.**

С самого начала Группа FOERSTER работала над созданием всемирной сети экспертов для эффективной и разумной работы на мировых рынках. В какой бы точке мира ни возникла потребность в инспекции труб риформера – наше бизнес-подразделение «Инспекция» находится рядом с вами, готово ответить на ваши вопросы и выполнить ваши требования.

**Главный офис**

■ Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG, Германия

**Дочерние компании**

- FOERSTER Instruments Inc., Америка
- FOERSTER (LOTIS & MANTIS), Америка
- US Thermal Technology Inc. (USTT), Америка
- FOERSTER (Shanghai) NDT Instruments Co., Ltd., Китай
- FOERSTER Japan Ltd., Япония
- FOERSTER Франция SAS

**Агентства**

- Hydro Kleen Systems do Brasil Limpeza Industrial Ltda, Бразилия, Аргентина
- Middle East Star (MES) – Tragency Middle East, Египет
- Pipeline Supply Company LLC. (India), Индия
- PT. Profluid, Индонезия
- NDT Corrosion Control Services Co. (NDTCCS), Королевство Саудовская Аравия / Бахрейн
- Calibre Petrochem SDN. BHD., Малайзия
- Leap Engineering Solutions, Пакистан
- Marant Polska SP z o.o., Польша
- Arsenal Group Co. Ltd, Россия
- Safetech Co., Ltd., Южная Корея
- Pipeline Supply Company LLC. (PSC), Султанат Оман



**FOERSTER**

Parent Company of MP and USTT  
Owner of LOTIS and MANTIS Technology

**Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG**

In Laisen 70 | 72766 Reutlingen | Германия

+49 7121 140 0 | m +49 160 9461 7857

inspection@foerstergroup.com

[foerstergroup.com](http://foerstergroup.com)

**U.S. Thermal Technology Inc.**

**A FOERSTER Group Company**

140 Industry Drive | Pittsburgh, PA 15275

+1 412 788 8976 | m +1 713 806 6561

inspection@foerstergroup.com

Kara Ellis

**FOERSTER INSTRUMENTS INC.**

**(LOTIS & MANTIS)**

906 Geneva Street, Shorewood, IL 60404

C: 815-979-3238

[kara.ellis@foerstergroup.com](mailto:kara.ellis@foerstergroup.com)